

SKRIPSI

**PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN TOOL *MICRO FRICTION*
STIR WELDING TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS
PADA SAMBUNGAN ALUMINIUM 1100**

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Strata
Satu (S-1) Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah
Yogyakarta**



Disusun Oleh:

Ramadhoni Fahmi Arianto Putra

NIM: 20160130084

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH

YOGYAKARTA

2020

PERNYATAAN

Yang Bertandatangan Dibawah Ini :

Nama : Ramadhoni Fahmi Arianto Putra
Nomor Induk Mahasiswa : 20160130084
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Penelitian : Pengaruh Sudut Kemiringan Tool
Micro Friction Stir Welding Terhadap
Sifat Fisis dan Mekanis pada
Sambungan Aluminium 1100

Dengan lembar pernyataan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil dari penelitian, pemaparan serta pemikiran saya sendiri dan merupakan bagian dari penelitian dosen pembimbing Muh. Budi Nur Rahman, S.T.M.Eng dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya yang pernah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumber dalam naskah dan dalam daftar pustaka

Demikian pernyataan dibuat dengan sebenarnya, tanpa adanya paksaan dan tekanan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik bila ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Yogyakarta, 26 November 2020

Penulis



Ramadhoni Fahmi Arianto Putra
20160130084

KATA PENGANTAR



Assalamualikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberi karunia dan rahmatnya kepada penulis sehingga diberikan kesehatan serta kelancaran ditengah pandemi COVID-19 sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN TOOL *MICRO FRICTION STIR WELDING* TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS PADA SAMBUNGAN ALUMINIUM 1100”**. Penulis menyadari bahwa dalam proses penulisan dan penelitian terdapat pihak yang sangat mendukung sehingga penelitian dapat selesai dengan baik. Penulis mengucapkan banyak terimakasih atas segala persn dan dukungannya selama penulis menyelesaikan tugas, diantaranya:

1. Muhammad Budi Nur Rahman, S. T., M.Eng., selaku dosen pembimbing 1 yang telah banyak membimbing penulis dengan sabar dari awal hingga selesai
2. Ir. Aris Widyo Nugroho, M. T., Ph.D., selaku dosen pembimbing 2 yang telah banyak membimbing penulis dengan sabar dari awal hingga selesai
3. Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng.Sc., PH.D., selaku ketua program studi S-1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
4. Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
5. Dosen, laboran dan staf tata usaha yang telah membimbing, membantu serta memberikan pelayanan dengan baik hingga semuanya berjalan dengan lancar
6. Kedua orangtua yang senantiasa selalu memberikan dukungan baik moral maupun material hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, terimakasih atas bantuan dan dukungan yang diberikan sehingga skripsi ini selesai

ataupun saran yang yang dapat membangun dari pembaca. Akhir kata penulis mengharapkan penelitian ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis namun bagi pihak lain untuk menambah pengetahuan bagi pembaca, khususnya bagi rekan mahasiswa.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 26 November 2020

Penulis



Ramadhoni Pahmi Arianto Putra
20160130084

DAFTAR ISI

COVER	i
PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
INTISARI.....	xi
ABSTRACT.....	xii
BAB 1	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat.....	5
BAB II.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka.....	6
2.2 Dasar Teori	9
2.2.1 Definisi Pengelasan.....	9
2.2.3 Parameter Pengelasan <i>Friction Stir Welding</i>	10
2.2.4 Penampang Makro dari Daerah Logam Las pada <i>Friction Stir Welding</i>	12
2.3 Aluminium dan Paduannya Seri 1100	14
2.4 Pengujian Hasil Pengelasan	14
BAB III	19
METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2.1 Alat Prosedur Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan	20
3.2.2 Bahan yang Dilakukan Dalam Penelitian	22

3.3 Prosedur Penelitian.....	23
3.3.1 Proses Pengelasan.....	23
3.3.2 Proses Pengujian Mekanik.....	24
3.4 Analisis Data	27
BAB IV	29
4.1 Hasil Uji dan Pembahasan.....	29
4.2 Hasil Uji Tarik.....	30
4.4 Hasil Foto Makro dan Micro	35
4.4.1 Hasil Foto Makro.....	36
4.4.2 Hasil Foto Mikro	37
4.5 Hasil Uji Kekerasan.....	41
4.6 Faktografi	44
BAB V.....	47
KESIMPULAN	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip Dasar Proses <i>FSW</i> (Tarmizi, & Prayoga, (2016).....	9
Gambar 2. 2 Skema Proses <i>FSW</i>	11
Gambar 2. 3 Geometri <i>Tool</i>	12
Gambar 2. 4 Daerah Pengelasan pada <i>FSW</i> Tarmizi, & Prayoga, B. (2016).....	13
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian <i>Micro friction Stir Welding</i>	19
Gambar 3. 2 Mesin Milling Vertikal Merk Aciera	20
Gambar 3. 3 <i>Mikroskop Optic Olympus</i> seri SZ61 dan <i>Mikroskop Optic Olympus</i> seri BX53M.....	21
Gambar 3. 4 <i>Universal Testing Machine</i> (UTM) merk INSTRON 3367	21
Gambar 3. 5 Mikroskop Metalografi Mitutoyo HM – 100	22
Gambar 3. 6 Aluminium seri 1100.....	23
Gambar 3. 7 Design pin <i>Tool</i>	23
Gambar 3. 8 Skema Friction Stir Welding (Polmear, 1995).....	24
Gambar 3. 9 Specimen Uji Tarik	25
Gambar 4. 1 Analisa Permukaan uFSW Variasi Sudut Kemiringan <i>Tool</i> (a) 0°, (b) 1°, (c) 2°	30
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Uji Tarik	31
Gambar 4. 3 Grafik Variasi Sudut Kemiringan <i>Tool</i> Terhadap <i>Ultimate Tensile Strength</i>	32
Gambar 4. 4 Grafik Variasi Sudut Kemiringan <i>Tool</i> Terhadap Regangan	34
Gambar 4. 5 Grafik Variasi Sudut Kemiringan <i>Tool</i> Terhadap <i>Modulus Elastisitas</i>	35
Gambar 4. 6 Foto Makro hasil Pengelasan uFSW	37
Gambar 4. 7 Struktur Mikro Base Metal Aluminium AA1100 dengan Pembesaran 500 X.....	38
Gambar 4. 8 Struktur Mikro Variasi Sudut Kemiringan <i>Tool</i> 0°	38
Gambar 4. 9 Struktur Mikro Variasi Sudut Kemiringan <i>Tool</i> 1°	39
Gambar 4. 10 Struktur Mikro Variasi Sudut Kemiringan <i>Tool</i> 2°	40
Gambar 4. 11 Titik Pengujian Kekerasan <i>Micro Vickers</i> dengan Variasi Kemiringan <i>Tool</i> (a) 0° (b) 1° (c) 2°	42
Gambar 4. 12 Grafik Uji Kekerasan	43
Gambar 4. 13 Perpatahan Specimen Sudut Kemiringan <i>Tool</i> 0° , (a) Tampak Depan Bagian patahan Las (b) Tampak Atas Bagian patahan Las	44
Gambar 4. 14 Perpatahan Specimen Sudut Kemiringan <i>Tool</i> 1° , (a) Tampak Depan Bagian patahan Las (b) Tampak Atas Bagian patahan Las	45
Gambar 4. 15 Perpatahan Specimen Sudut Kemiringan <i>Tool</i> 2° , (a) Tampak Depan Bagian patahan Las (b) Tampak Atas Bagian patahan Las.....	45

Gambar 4. 16 Perpatahan Specimen BM,(a) Tampak Depan Bagian patahan Las
(b) Tampak Atas Bagian patahan Las 45

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Aluminium 1100.....	14
Tabel 3. 1 Komposisi Aluminium Alloys 1100 (Sukmana & Sustiono, 2016)	22
Tabel 4. 1 Tabel Kekuatan Hasil Uji Tarik.....	31
Tabel 4. 2 Regangan Hasil Uji Tarik	33
Tabel 4. 3 Tabel Modulus Elastisitas	34
Tabel 4. 4 Data Hasil Pengujian kekerasan.....	42

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

FSW : Friction Stir Welding

SZ : stir zone.

HAZ : Heat affected zone.

TMAZ: Thermo mechanical affected zone

BM : Base metal

VHN : Vickers hardness number

F : Beban (N)

N : Newton

INTISARI

PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN TOOL *MICRO FRICTION STIR WELDING* TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS PADA SAMBUNGAN ALUMINIUM 1100

Ramadhoni Fahmi Arianto Putra¹, Muh. Budi Nur Rahman², Aris Widyo Nugroho³
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Brawijaya Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, Indonesia, 55183
Ramadonifahmi86@gmail.com

Microfriction stir welding merupakan hasil pengembangan dari pengelasan *friction stir welding* untuk diaplikasikan pada penyambungan material dengan ukuran ketebalan maksimal 1000 μm . Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan tool terhadap sifat mekanis dan struktur mikro pada sambungan *aluminium alloys* 1100 dengan proses μFSW .

Penelitian ini menggunakan material *aluminium alloys* 1100. Pengelasan dilakukan dengan variasi sudut kemiringan tool 0° , 1° dan 2° , kecepatan pengelasan 85 mm/menit, kecepatan putaran 2280 rpm. Jenis sambungan yang digunakan adalah sambungan *butt*. Penguji struktur mikro dilakukan menggunakan *microstruktur optic*. Kekerasan pada daerah sambungan dieralasi dengan mesin Vickers sedangkan sifat tarik sambungan di uji dengan menggunakan *Universal Testing Mechanical*.

Hasil dari pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa *grain size* pada *stir zone* semua variasi kecepatan putar pin tool terlihat lebih kecil dibandingkan pada *Base Metal* (BM) dan *Heat affected zone* (HAZ). Hal ini akan menyebabkan nilai kekerasan pada HAZ dan *stir zone* lebih tinggi dari pada BM. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *stir zone* terdapat pada variasi sudut kemiringan tool 2° sebesar 64,7 VHN sedangkan nilai terendah pada sudut kemiringan tool 1° sebesar 56,3 VHN. Pengujian tarik meliputi nilai tegangan rata-rata tertinggi terdapat pada sudut kemiringan tool 2° sebesar 111,36 MPa dan nilai terendah pada sudut kemiringan tool 1° yaitu sebesar 63,20 MPa serta pada sudut kemiringan tool 0° memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 75,69 MPa.

Kata Kunci: *Friction Stir Welding, Micro Friction Stir Welding* (μFSW), *Butt joint*,

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF MICRO FRICTION STIR WELDING TOOL Tilt Angle ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM 1100

Ramadhoni Fahmi Arianto Putra¹, Muh. Budi Nur Rahman², Aris Widyo Nugroho³
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Brawijaya Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, Indonesia, 55183
Ramadonifahmi86@gmail.com

Microfriction stir welding is the result of the development of friction stir welding to be applied to joining materials with a maximum thickness of 1000 μm . The purpose of this study was to determine the effect of the tool tilt angle on the mechanical properties and microstructure of the 1100 aluminum alloy joints with the μFSW process.

This study uses aluminum alloys 1100 material. Welding was carried out with variations of the tool tilt angle of 0 °, 1 ° and 2 °, welding speed 85 mm / minute, rotation speed of 2280 rpm. The type of connection used is a butt joint. The microstructure tester was carried out using an optical microstructure. The hardness in the joint area was smoothed by a Vickers machine while the tensile properties of the joint were tested using Universal Mechanical Testing

The results of the microstructure observation showed that the grain size in the stir zone all variations of the tool pin rotational speed were smaller than that of the Base Metal (BM) and Heat affected zone (HAZ). This will cause the hardness value of the HAZ and stir zone to be higher than the BM. The highest hardness value in the stir zone area is at the 2 ° tool tilt angle variation of 64.7 VHN, while the lowest value is the 1 ° tool tilt angle of 56.3 VHN. The tensile test includes the highest average stress value found at 2 ° tool tilt angle of 111.36 MPa and the lowest value at 1 ° tool tilt angle of 63.20 MPa and at 0 ° tool tilt angle has an average tensile strength of 75.69 MPa.

Keywords: Friction Stir Welding, Micro Friction Stir Welding (μFSW), Butt joint.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan terkini membutuhkan individu untuk memperoleh pengetahuan dan keterampilan dan menerapkannya ke berbagai bidang. Manufaktur adalah bidang penting yang selalu membutuhkan inovasi. Inovasi ini dapat direalisasikan untuk menyederhanakan pekerjaan manusia tanpa mengurangi kualitas.

Salah satu teknik yang telah banyak digunakan untuk memproses logam selama zaman industri ini adalah pengelasan. Pengelasan adalah proses menghubungkan dua logam secara permanen menggunakan energi termal. Ada banyak jenis pengelasan di Indonesia, tetapi ada beberapa jenis yang tidak banyak dikenal secara umum. Berbagai jenis teknik pengelasan inovatif telah muncul, bersama dengan masalah yang dihadapi saat menghubungkan bahan. Rentang penerapan teknologi pengelasan lebih ringan dan sederhana dalam proses struktur bangunan dan mesin, menghasilkan biaya produksi yang lebih rendah dan lebih efisien (Rahayu, 2012)

Friction stir welding (FSW) adalah salah satu metode pengelasan *solid-state* yang ditemukan oleh The Welding Institute (TWI) pada tahun 1991, mempunyai beberapa keunggulan seperti tidak memerlukan *filler*, memiliki kualitas sambungan tinggi, deformasi yang kecil, dll. Dengan perkembangan teknologi dan meningkatnya kebutuhan dalam industri, penelitian tentang teknologi FSW dikembangkan lebih lanjut ke arah μ FSW. μ FSW digunakan di bidang industri manufaktur seperti penerbangan, *aerospace*, otomotif, mikroelektronika, dll. Oleh karena itu, μ FSW sebagai teknologi terobosan dalam proses manufaktur, memiliki prospek aplikasi yang luas (Zhang, 2019).

Aluminium Series 1100 adalah salah satu jenis aluminium yang umum digunakan di industri. Penggunaan aluminium seri 1100 sering digunakan di

industri, terutama dalam penggunaan alat penukar panas, pipa ledeng dan bejana tekan. Hal ini karena aluminium memiliki koefisien muai yang besar, koefisien yang tinggi, dan bereaksi dengan udara, sehingga kemungkinan besar akan terbentuk lapisan oksida (Al_2O_3) dan temperatur cairannya lebih tinggi dari pada aluminium murni. Panas berlebih ini rentan terhadap cacat seperti porositas, regangan, dan retakan pada metode koneksi GTAW dan GMAW. Untuk mengatasi masalah tersebut, proses friction stir welding (FSW) dapat digunakan sebagai solusi untuk mengatasi masalah cacat pada aluminium akibat proses penyambungan yang terjadi dibawah suhu logam aluminium cair (Tarmizi dkk., 2019)

Micro friction stir welding (μ FSW) merupakan hasil pengembangan dari *friction stir welding* yang diaplikasikan pada material dengan ketebalan 1000 μ m atau kurang, dan pada saat ditemukan, *friction stir welding* merupakan material dengan ketebalan lebih dari 1 mm. Fokusnya adalah pada penelitian. Variasi dalam parameter proses dan desain *tool*. Kelebihan dari pengelasan metode FSW dan μ FSW adalah tidak perlu menggunakan gas pembungkus dan flux (Harsanto & Mahardika, 2019).

Ahmed dkk., (2014) melakukan penelitian terhadap μ FSW menggunakan material aluminium seri AA6XXX dengan ketebalan plat 440 μ m. Dalam studi ini, pengelasan dilakukan pada dua posisi sambungan, *lap joint* dan *butt joint*. Proses *butt joint* dilakukan dengan parameter kecepatan putaran pahat 1650 rpm dan *feed rate* 25 mm/menit. Di sisi lain, *lap joint* dilakukan dengan parameter kecepatan pahat 1700 rpm dan *feed rate* 25 mm/menit. Dari hasil uji tarik diketahui bahwa *lap joint* μ FSW memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dari pada *butt joint*, namun lebih rendah dari kekuatan tarik base metal. Dari hasil pengujian kekerasan diketahui bahwa tidak ada perbedaan kekerasan yang signifikan antara *butt joint* dan *lap joint*.

Harsanto, (2019) melakukan penelitian tentang sifat mekanik μ FSW pada plat aluminium AA1100 setebal 400 μ m. Parameter pengelasan yang digunakan adalah kecepatan las 8000 rpm dan variasi *feed rate* 30, 50 dan 70 mm / menit.

Kekuatan tarik tertinggi ditemukan pada spesimen yang dilas dengan *feed rate* 30 mm / menit, atau 61,31 MPa. Kekuatan tarik terendah ditemukan pada spesimen las dengan *feed rate* 70 mm / menit 43,455 MPa. Proses μ FSW yang dijalankan menunjukkan bahwa hasil memiliki sifat yang getas. Hal ini terlihat dari hasil spesimen uji tarik yang tidak menunjukkan *necking*. Patahan terjadi di daerah *nugget zone* hal ini menandakan bahwa pengelasan ini tidak terlalu mempengaruhi daerah sekitar pengelasan.

Riyadi dkk, (2019) melakukan penelitian tentang pengaruh kecepatan putaran pin tool terhadap sifat fisik dan mekanik hasil pengelasan μ FSW. Material yang digunakan adalah paduan *aluminium alloys* 1100 dengan ketebalan plat 300 μ m. Proses pengelasan dilakukan dengan mengubah kecepatan putaran pin tool yang digunakan menjadi 8000 rpm, 9000 rpm, dan 10000 rpm. *Feed rate* yang digunakan adalah 30 mm / menit, 50 mm / menit, dan 70 mm / menit. Hasil uji tarik menunjukkan kuat tarik las dengan *feed rate* 50 mm / menit sebesar 41,218 MPa. Di sisi lain, nilai kekerasan tertinggi di wilayah WNZ diperoleh dengan *feed rate* 70 mm / menit, atau lasan 71,5 VHN. Nilai kekerasan terendah diperoleh pada *feed rate* 30 mm / menit, atau 53,2 VHN.

Sumarlin, (2015), tiga tes struktur mikro, uji tarik, dan kekerasan Brinell dilakukan. Dari tiga alat pin (segitiga, persegi panjang, dan lingkaran), masing-masing alat pin memiliki kelebihan dan kekurangan. Alat pin kekerasan tertinggi memiliki spesimen standar kekerasan 27,9 VHN (tanpa pengelasan). 38.1 VHN. Alat pin persegi panjang memiliki kekuatan tarik tertinggi dengan tegangan maksimum 79,28 MPa, 13,5 regangan (tanpa pengelasan), tegangan luluh 46,35 MPa, tegangan maksimum 111,63 MPa, tegangan maksimum 125,30 MPa, tegangan maksimum 19,8 MPa regangan.

Berdasarkan uraian di atas, dapat diketahui bahwa sudut kemiringan tool dapat mempengaruhi sifat mekanik dari hasil pengelasan FSW. Informasi mengenai nilai kekerasan, nilai uji tarik, struktur makro dan struktur mikro dapat memberikan ilmu terhadap proses pengelasan metode μ FSW. Dilihat dari uraian penelitian di atas penelitian mengenai μ FSW dengan variasi sudut kemiringan tool

masih jarang dilakukan, oleh karena itu penelitian mengenai pengaruh sudut kemiringan *tool* pada μ FSW ini dilakukan dengan tujuan dapat memberikan pengetahuan baru mengenai pengaruh variasi sudut kemiringan *tool* terhadap struktur mikro, nilai kekerasan dan nilai kekuatan tarik pada pengelasan μ FSW yang menggunakan bahan aluminium seri 1100.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam memudahkan penelitian ini, maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh kekuatan tarik dan nilai kekerasan dari proses *micro Friction stir welding* (FSW) dengan variasi sudut kemiringan *tool*.
2. Bagaimana struktur mikro dari specimen bahan paduan aluminium alloy seri 1100 pada proses *micro Friction Stir Welding* (FSW) dengan membuat foto struktur mikro pada sambungan tipe *butt joint*.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah diatas ini dibahas secara rinci sebagai berikut:

1. Tegangan sisa, panas dan getaran diabaikan.
2. Tekanan *tool* pada benda kerja dianggap sama setiap spesimen.
3. Feed rate dan putaran *tool* diasumsikan konstan

1.4 Tujuan Penelitian

Memberikan informasi pengaruh sudut kemiringan *tool* terhadap sifat fisis dan sifat mekanis serta struktur mikro sambungan *aluminium alloys* seri 1100 dengan proses *micro friction stir welding* sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi sudut kemiringan *tool* pada struktur mikro sambungan las aluminium dengan seri 1100 proses *micro friction stir welding*.
2. Mengetahui pengaruh sudut kemiringan *tool* pada nilai Kekerasan Sambungan las aluminium berbeda dari 1100 dengan proses *micro friction stir welding*.

3. Mengetahui pengaruh sudut kemiringan *tool* pada kekuatan tarik Sambungan las aluminium berbeda dari 1100 dengan proses *micro friction stir welding*.
4. Mengetahui pengaruh variasi sudut kemiringan *tool* pada struktur makro sambungan las aluminium dengan seri 1100 proses *micro friction stir welding*.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini diantaranya:

1. Mendapatkan informasi tentang parameter yang digunakan untuk pengelasan dissimilar *aluminium alloys* 1100 dengan metode *micro friction stir welding*.
2. Mengetahui nilai pengaruh sudut kemiringan *tool* pada sifat mekanik, makro dan mikro dalam proses pengelasan *micro friction stir welding*.
3. Memberikan data-data hasil penelitian ini dapat menjadi referensi untuk peneliti aluminium dengan metode *micro friction stir welding*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai proses penyambungan logam dengan menggunakan proses FSW sudah banyak dilakukan. Para peneliti sudah mulai melakukan penelitian mengenai parameter kekerasan permukaan, struktur mikro dan kekuatan tarik pada beberapa penelitian.

Farid & Wahid, (2019) mempelajari pengaruh kecepatan pengelasan terhadap sifat mekanik sambungan aluminium seri 5053 dengan ketebalan pelat 10 mm, kecepatan putar pahat 1500 rpm dan variasi kecepatan pengelasan 22, 38, 64, 83 (mm / menit). Saya melakukannya. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat silinder ulir berlawanan arah jarum jam. Hasilnya adalah kekerasan logam dasar (BM) dengan nilai kekerasan 48,56 HV yang menunjukkan nilai kekerasan tiap daerah lasan. Nilai kekerasan tertinggi berada pada wilayah zona pengadukan dengan nilai 55,55 HV dengan perubahan laju pengelasan 22 mm / menit, lebih tinggi dari kekerasan logam utama (BM), HAZ, atau TMAZ akibat padatan mekanisme *solid solution strengthening*. Mekanisme *solid solution strengthening* terjadi ketika atom memasuki larutan padat, sehingga terjadi tegangan kisi di sekitar atom induk, yang menyebabkan atom berinteraksi dengan dislokasi dan menghambat pergerakan dislokasi material menyebabkan penguatan pada material.

Ahmed dkk., (2014) melakukan penelitian terhadap μ FSW menggunakan material aluminium seri AA6XXX dengan ketebalan plat 440 μ m. Dalam studi ini, pengelasan dilakukan pada dua posisi sambungan, *lap joint* dan *butt joint*. Proses *butt joint* dilakukan dengan parameter kecepatan putaran pahat 1650 rpm dan *feed rate* 25 mm / menit. Di sisi lain, *lap joint* dilakukan dengan parameter kecepatan pahat 1700 rpm dan *feed rate* 25 mm / menit. Dari hasil uji tarik diketahui bahwa *lap joint* μ FSW memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dari pada *butt joint*, namun lebih rendah dari kekuatan tarik base metal. Dari hasil

pengujian kekerasan diketahui bahwa tidak ada perbedaan kekerasan yang signifikan antara *butt joint* dan *lap joint*.

Harsanto (2019) melakukan penelitian tentang sifat mekanik μ FSW pada pelat aluminium AA1100 setebal 400 μ m. Parameter pengelasan yang digunakan adalah kecepatan las 8000 rpm dan variasi *feed rate* 30, 50 dan 70 mm / menit. Kekuatan tarik tertinggi ditemukan pada spesimen yang dilas dengan *feed rate* 30 mm / menit, atau 61,31 MPa. Kekuatan tarik terendah ditemukan pada spesimen las dengan laju umpan 70 mm / menit (43,455 MPa). Proses μ FSW yang dijalankan menunjukkan bahwa hasil memiliki sifat yang getas. Hal ini terlihat dari hasil spesimen uji tarik yang tidak menunjukkan *necking*. Patahan terjadi di daerah *nugget zone*. Hal ini menandakan bahwa pengelasan ini tidak terlalu mempengaruhi daerah sekitar pengelasan.

Riyadi, dkk (2019) melakukan penelitian tentang pengaruh kecepatan putaran pin tool terhadap sifat fisik dan mekanik hasil pengelasan μ FSW. Material yang digunakan adalah paduan *aluminium alloys* 1100 dengan ketebalan plat 300 μ m. Proses pengelasan dilakukan dengan mengubah kecepatan putaran pin tool yang digunakan menjadi 8000 rpm, 9000 rpm, dan 10000 rpm. *Feed rate* yang digunakan adalah 30 mm / menit, 50 mm / menit, dan 70 mm / menit. Hasil uji tarik menunjukkan kuat tarik las dengan *feed rate* 50 mm / menit sebesar 41,218 MPa. Di sisi lain, nilai kekerasan tertinggi di wilayah WNZ diperoleh dengan *feed rate* 70 mm / menit, atau lasan 71,5 VHN. Nilai kekerasan terendah diperoleh pada *feed rate* 30 mm / menit, atau 53,2 VHN.

Rahman dkk., (2018) menemukan bahwa kuat tarik dan kekerasan aluminium 5052 pada berbagai *feed rate* 20, 60, 120, 180 mm / menit dan pin tool 1500, 2500, 3600 rpm. efek laju umpan dan kecepatan rotasi aktif. Gunakan tool pin cylinder holder dengan panjang 22 mm dan 4 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin cepat laju suplai maka semakin rendah nilai kuat tariknya, namun semakin tinggi nilai regangan tariknya. Pada hasil pengelasan dengan *feed rate* 60 mm / menit nilai uji tarik 187 MPa dan regangan 12,4%, dan nilai kuat tarik laju umpan 180 mm / menit 103 MPa dan regangan 3,17%. Pada

putaran tinggi pahat pin, kekuatan tarik meningkat, sambungan sekering dan mengeras, dan pada 1500 rpm, putaran pin pahat memberikan nilai kekuatan tarik 112 MPa hingga 207 MPa pada 3600 rpm.

Nadda dkk., (2020) Dalam penelitian pengelasan pengadukan gesekan mikro pada aluminium seri 6061-T6, ia menyatakan bahwa pada pengujian mikrostruktur hasil pengelasan, material mengalami rekristalisasi di daerah pengadukan. Rekristalisasi ini menciptakan partikel di area lasan. Bentuk partikelnya padat di wilayah SZ, tetapi kepadatan partikelnya rendah di wilayah TMAZ. Hal ini disebabkan pengaruh temperatur dan regangan selama proses pengelasan. Tingkat temperatur dan regangan di daerah TMAZ lebih rendah daripada di daerah SZ, sehingga pengaruh terhadap mikrostruktur relatif kecil. Di daerah SZ, partikel yang dihasilkan oleh proses rekristalisasi memiliki bentuk yang seragam. Mikro daerah SZ yang direkristalisasi menghasilkan bentuk partikel yang seragam dan rapat menyebabkan meningkatkan kekerasan pada sambungan las.

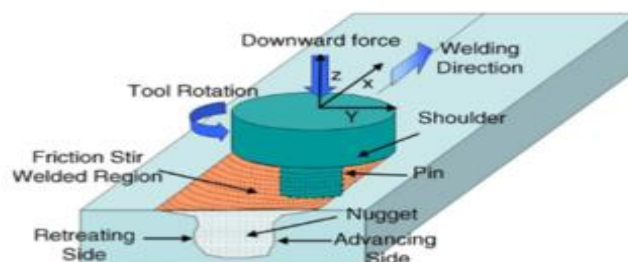
Dari beberapa penelitian diatas dapat diketahui bahwa variasi diameter pin tool dapat mempengaruhi hasil pengelasan pada sifat mekaniknya. Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai kekerasan yaitu adanya perubahan struktur mikro akibat pemanasan logam saat proses pengelasan yang menyebabkan adanya rekristalisasi pada daerah SZ sehingga nilai kekerasan pada daerah SZ meningkat. Sedangkan besarnya nilai kekuatan tarik dapat dipengaruhi oleh adanya cacat yang terjadi pada hasil pengelasan. Dengan adanya informasi dari penelitian sebelumnya diharapkan dapat membantu dalam menganalisa hasil uji kekerasan dan hasil uji tarik pada hasil pengelasan μ FSW dengan variasi sudut kemiringan *tool* 0° , 1° dan 2° .

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Definisi Pengelasan

Pengelasan adalah proses penggabungan bahan yang menghasilkan bahan cair dengan dan tanpa tekanan dengan cara memanaskan bahan cair tersebut sampai suhu yang sesuai. Pengelasan digunakan untuk membuat sambungan permanen. Digunakan dalam pembuatan bodi mobil, kerangka pesawat, kereta api, kerangka mesin, pekerjaan struktur, tangki, furnitur, boiler, pekerjaan perbaikan umum dan pembuatan kapal.

Welding adalah teknik penyambungan logam yang melebur sebagian logam pengisi atau tanpa tekanan. Pengelasan (*welding*) didefinisikan oleh *Deutsche Industrie Normen* (DIN) sebagai ikatan metalurgi dari paduan logam atau sambungan logam yang dilakukan dalam keadaan cair atau lumer. Dengan kata lain, pengelasan adalah proses penggabungan logam karena adanya logam tersebut dapat didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang tidak dipengaruhi oleh panas atau tekanan, atau disebabkan oleh adanya gaya tarik antar logam (Nurdik, 2018)



Gambar 2. 1 Prinsip Dasar Proses FSW (Tarmizi, & Prayoga, (2016).

2.2.2 Pengertian Friction Stir Welding (FSW) dan μ FSW

FSW adalah proses penggabungan dua material logam atau non-logam tanpa melewati titik lebur dari benda kerja yang digunakan dalam aplikasi yang dapat meminimalkan perubahan dari karakteristik benda kerja. Pada proses FSW, tool berputar dan bergerak dengan kecepatan konstan di sepanjang jalur

sambungan antara dua material yang akan dilas. Gambar 2.1 menunjukkan metode pengelasan *friction stir welding*.

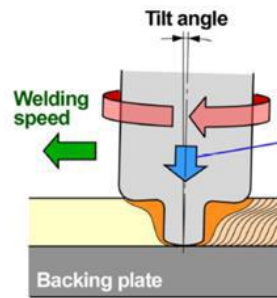
Gesekan panas pada FSW timbul dari gesekan antara tool pin dan shoulder welding tool terhadap material benda kerja. Panas ini dihasilkan bersamaan dengan panas yang dihasilkan oleh proses pengadukan mekanis benda kerja, menyebabkan material benda kerja melunak tanpa melewati titik leburnya. Inilah mengapa alasan tool pengelasan bisa bergerak di sepanjang jalur pengelasan (Riyadi dkk, 2019)

Pada mikrostruktur FSW, hasil pengelasan meliputi daerah logam dasar (base metal, BM), daerah adukan logam (stir zone, SZ), daerah terpengaruh panas secara mekanik (*thermo-mechanical affected zone*, TMAZ), dan daerah terpengaruh panas. Ini terdiri dari beberapa area lasan. Panas (*heat affected zone*, HAZ). Pada proses pengelasan FSW, SZ merupakan daerah yang memiliki temperatur yang paling tinggi, sehingga terjadi perubahan struktur mikro, proses rekristalisasi, dan besaran butir. Di daerah TMAZ, pengasaran butir umumnya terjadi pada suhu yang relatif rendah atau di bawah suhu rekristalisasi BM, tanpa proses rekristalisasi. berikutnya, pada daerah pertumbuhan butir di area las panas di HAZ (Sukmana & Sustiono, 2016)

MicroFriction Stir Welding (μ FSW) merupakan hasil pengembangan dari *friction stir welding* yang diaplikasikan pada material splicing dengan ketebalan 1000 μm atau kurang. Pada awal penemuannya *friction stir welding* difokuskan pada studi material yang lebih tebal dari 1 milimeter, dengan variasi parameter proses dan variasi desain *tool*. Daerah lasan yang dihasilkan oleh μ FSW sama dengan hasil lasan FSW dimana daerah hasil pengelasan terdiri dari BM, TMAZ, HAZ, dan SZ.

2.2.3 Parameter Pengelasan *Friction Stir Welding*

Proses FSW memiliki beberapa parameter yang diperlukan untuk menentukan kualitas hasil pengelasan, seperti terlihat pada Gambar 2.2 Parameter tersebut meliputi:



Gambar 2. 2 Skema Proses FSW

1. RPM (*Rotational Speed*)

RPM adalah kecepatan putaran probe per menit. Kecepatan putaran probe yang tinggi dapat mempengaruhi tingkat strain rate dari proses rekristalisasi dan hasil pengelasan. Semakin tinggi putaran, semakin tinggi temperatur dan semakin lambat laju pendinginan.

2. *Feed rate* (mm / s)

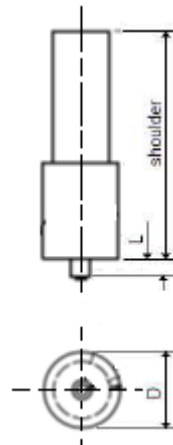
Feed rate memiliki peran penting dalam menghasilkan pengelasan yang baik. *Feed rate* yang rendah memberikan pengadukan yang baik antara material dan sambungan las dalam proses FSW, menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi. Sebaliknya, jika *feed rate* terlalu tinggi, material akan pengadukan dengan buruk dan hasil pengelasan akan cacat.

3. *Axial Force* (KN)

Tekanan tool adalah tekanan tool pada aluminium. Karena kesulitan dalam menggunakan pengukuran axial force dalam penelitian ini, tekanan tool diganti dengan Shoulder depth plunge (mm).

4. Desain Tool Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.

- a) Alat D / d rasio
- b) Panjang pin (mm)
- c) Diameter bahu alat, D (mm)
- d) Diameter pin, d (mm)
- e) Sudut kemiringan (derajat)



Gambar 2. 3 Geometri *Tool*

Selain itu, tool memiliki 3 fungsi lain yaitu:

1. Memanaskan benda kerja dari gesekan.
2. Memindahkan material yang sudah mengalami semi cair ke lokasi yang baru untuk membuat sambungan.
3. Sebagai penahan panas untuk material yang berada di bawah shoulder.

Tarmizi & Prayoga, (2016)

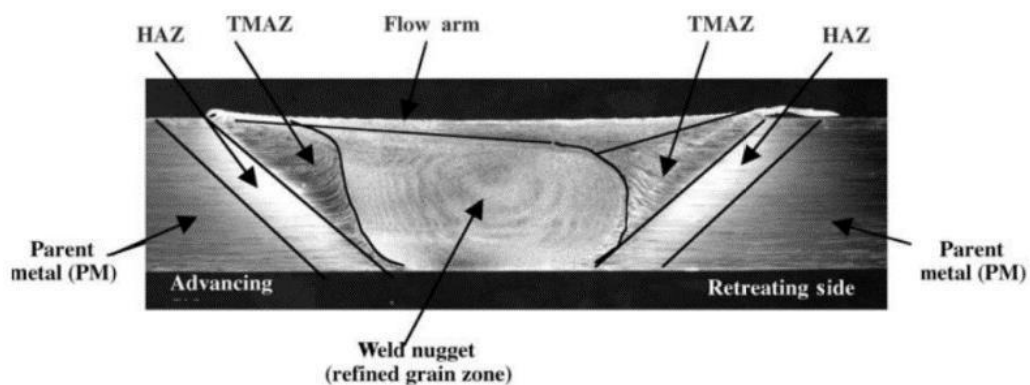
2.2.4 Penampang Makro dari Daerah Logam Las pada *Friction Stir Welding*

Bagian makro dari area logam las FSW dapat dibagi menjadi beberapa bagian yaitu:

1. Base metal merupakan bagian benda kerja yang tidak terpengaruh panas selama proses FSW.
2. HAZ adalah wilayah yang paling dekat dengan posisi pengelasan, dan material di wilayah ini menerapkan siklus termal untuk mengubah sifat mekanik dan struktur mikro BM.
3. TMAZ adalah area di mana terjadi deformasi plastik oleh *tool*, dan panas di area ini dapat dihasilkan selama proses pengelasan dan memengaruhi material. Aluminium panas memungkinkan regangan plastik tanpa proses rekristalisasi, dan biasanya pada daerah ini memiliki batas untuk

membedakannya antara daerah rekristalisasi (*weld nugget*) dan daerah TMAZ yang mengalami deformasi.

4. *Flow Arm Zone* (FAZ) adalah area las yang terseret adukan oleh shoulder, yang merupakan batas pengelasan FSW.
5. *Weld Nugget* (WN) merupakan suatu daerah yang mengalami rekristalisasi, atau daerah ini sering disebut dengan stir zona (SZ). Di area inilah sambungan pengelasan dihasilkan akibat adanya pergerakan tool.



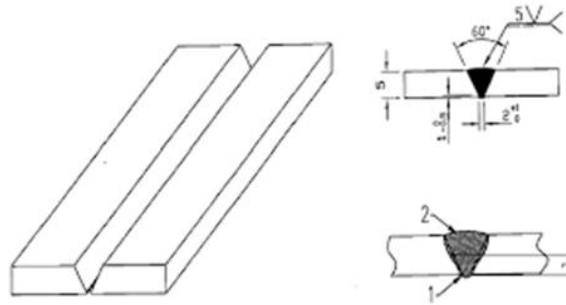
Gambar 2. 4 Daerah Pengelasan pada *FSW* Tarmizi, & Prayoga, B. (2016).

2.2.5 Jenis Sambungan Pada *Friction Stir Welding* (FSW)

Pada FSW terdapat berbagai variasi sambungan pengelasan. Beberapa variasi sambungan FSW antara lain:

a. Sambungan Butt (*Butt Joint*)

Merupakan sambungan di mana kedua benda kerja berada pada bidang yang sama dan disambung pada ujung kedua benda kerja yang saling berdekatan. *Butt joint* diperoleh dengan menempatkan sisi plat seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7. Dalam pengelasan butt, sisi plat tidak memerlukan kemiringan jika ketebalan plat kurang dari 5 mm. Jika tebal plat adalah 5 mm sampai 12,5 mm, maka sisi yang dimiringkan berbentuk alur V atau U pada kedua sisi.

Gambar 2.5 Sambungan *Butt Joint*

2.3 Aluminium dan Paduannya Seri 1100

Aluminium dikenal memiliki sifat lunak, mudah ditempa, dibentuk, ringan, tahan korosi dan konduktor listrik yang baik sehingga sering digunakan pada pipa hidrolis, perkapalan, bidang kedirgantaraan, bagian-bagian dalam kendaraan dan lain-lain.

Al-murni (seri 1000) adalah aluminium dengan tingkat kemurnian 99,0%. Rangkaian aluminium ini tidak hanya memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, konduktivitas listrik, dan konduktivitas termal, tetapi juga memiliki sifat pemotongan dan pengelasan yang sangat baik (Muku, 2009)

Unsur	Al	Cu	Fe	Mn	Si	Zn
Jumlah (%)	99 - 99.95	0.050 -0.2	Max 1.0	Max 0.05	Max 1.0	Max 0.1

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Aluminium 1100

2.4 Pengujian Hasil Pengelasan

Untuk mengetahui hasil dari pengelasan maka dilakukan proses pengujian yang diantaranya adalah proses pengujian *nondestructive test* (pengujian tanpa merusak) dan pengujian *destructive test* (pengujian dengan merusak) yang dijelaskan sebagai berikut:

2.4.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan mengetahui sifat-sifat mekanis dan perubahan dari benda kerja terhadap pembebanan tarik yang meliputi tegangan, regangan dan modulus elastisitas. Beban tarik yang diberikan dimulai dari nol dan akan berhenti pada beban atau tegangan patah tarik (*Ultimate Strength*) dari benda kerja yang di uji.

Pada pengujian tarik terdapat siklus yang terjadi pada material diantaranya proses elastisitas, proses plastis dan proses nilai kekuatan tarik tertinggi (batas maksimal). Proses elastisitas adalah proses dimana material benda kerja masih bisa kembali pada posisinya saat mengalami perubahan. Proses plastis dimana pada proses ini material mengalami perubahan yang tidak bisa kembali pada posisi semula. Proses batas maksimal pada proses ini biasanya material benda kerja mengalami *necking* dan kemudian material benda kerja putus.



Gambar 2. 6 Grafik Kompleks Regangan dan Tegangan Nur dkk, (2018)

Dalam uji tarik, beban dinaikkan secara bertahap pada benda uji sampai benda uji rusak, dan karakteristik tarik dapat dihitung dengan rumus berikut:

Engineering strain (regangan):

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100 \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan: L_0 = panjang mula dari batang uji (mm)

L = panjang batang uji yang dibebani (mm)

ε = regangan

Engineering stress (tegangan teknik):

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (2.2)$$

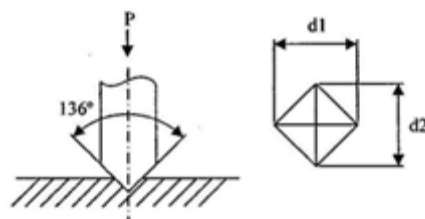
Dengan: F = beban (kgf)

A_0 = luas mula dari penampang batang uji (mm²)

σ = tegangan (kgf/mm²)

2.4.2 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan *vickers* merupakan pengujian merusak (*destructive test*), pengujian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui kekuatan material dari hasil lasan yang telah diberi beban indentasi atau penetrasi. Proses pengujian kekerasan *vickers* dilakukan dengan memberi penekanan pada permukaan logam menggunakan alat uji yang sudah dilengkapi dengan indenter yang berbentuk piramida, skema pengujian ini dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 7 Teknik Pengujian Kekerasan Wibowo dkk, (2016)

Hasil dari pengujian kekerasan *vickers* yang telah dilakukan kemudian dilanjutkan dengan mencari nilai VHN (*Hardness Vickers Number*) yang dapat dinyatakan dengan rumus berikut:

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan: VHN = Nilai kekerasan spesimen (kg/mm²)

P = Beban terpasang (kg)

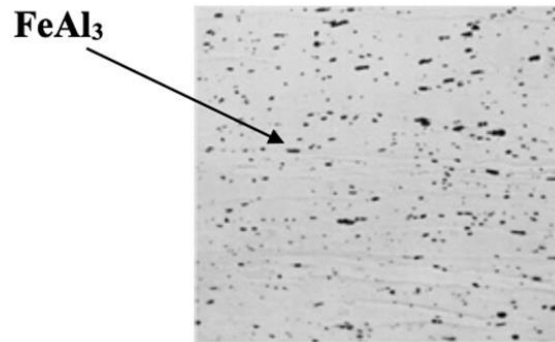
d = Diameter rata-rata bekas injakan indentor (mm)

θ = Sudut piramida intan (136°)

2.4.3 Pengujian Struktur Makro dan Mikro

Pengujian ini dilakukan guna mengetahui karakteristik dari aluminium seri 1100 setelah mengalami perlakuan pengelasan FSW. Sebelum pengujian dilakukan material terlebih dahulu dihaluskan permukaannya menggunakan amplas secara bertahap. Setelah proses pengamplasan maka proses selanjutnya ialah pemolesan permukaan menggunakan autosol yang bertujuan untuk menghaluskan permukaan logam secara mengkilap. Pengamatan struktur makro ini menggunakan *Microskop Optic Olympus seri SZ61* sedangkan pengamatan struktur mikro menggunakan *Microskop Optic Olympus seri BX53M*.

Aluminium seri 1100 mengandung partikel hitam pada struktur materialnya. Berdasarkan *ASM Handbook Metallography and Microstructures*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 partikel hitam yang merata pada matriks aluminium adalah FeAl₃.



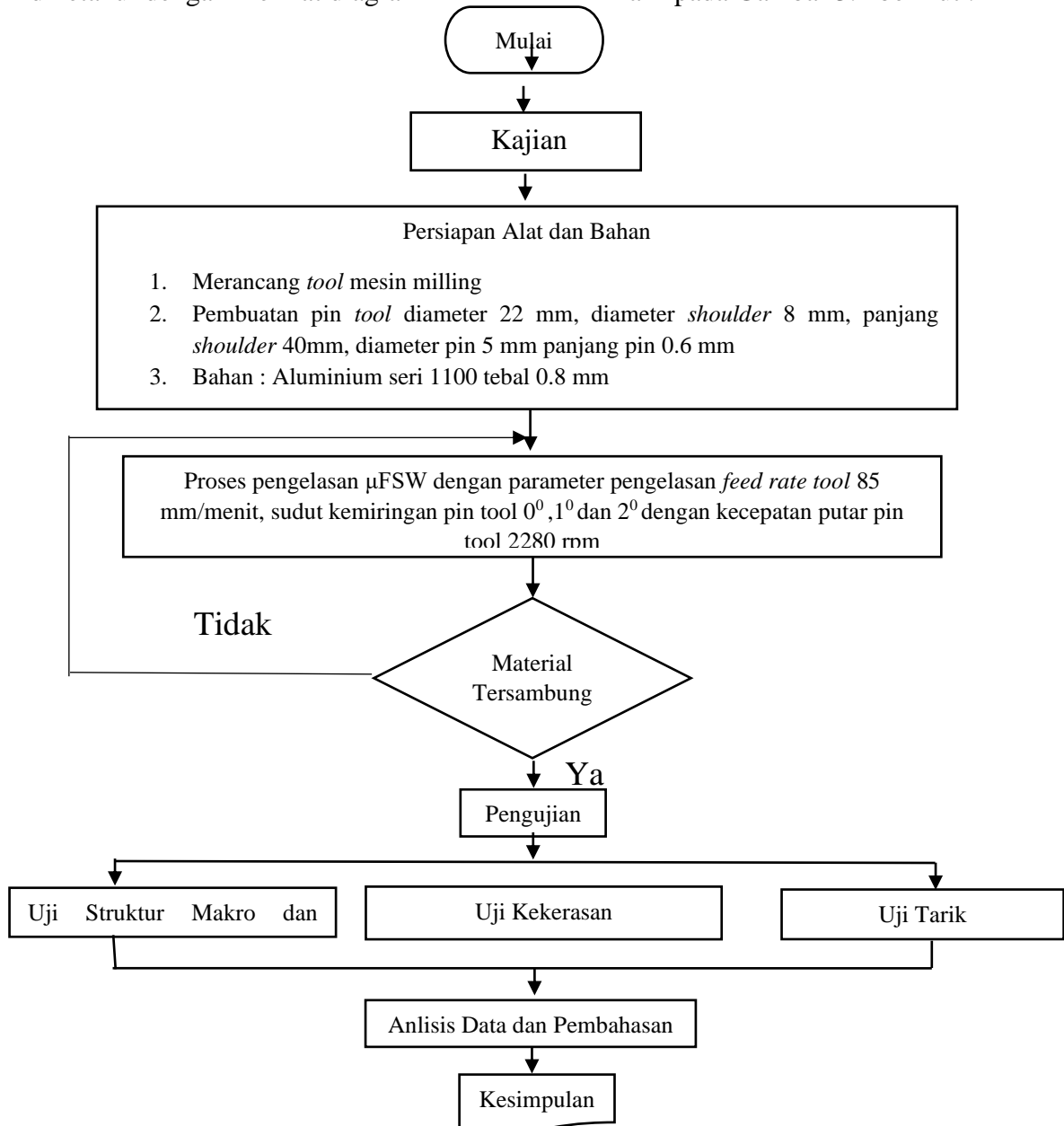
Gambar 2. 8 Partikel FeAl₃ Berdasarkan *ASM Hand Metalography and Microstructure*.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Proses penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang dapat diketahui dengan melihat diagram alir pada Gambar 3.1 berikut :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian *Micro friction Stir Welding*

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat yang digunakan pada penelitian

1. Mesin Milling Vertikal

Penggerak dari mesin *milling* berasal dari adanya konversi energi listrik menjadi energi gerak oleh motor listrik, kemudian gerakan diteruskan melalui transmisi yang menyebabkan gerakan berputar pada *spindle* mesin. *Spindle* merupakan bagian dari sistem utama mesin *milling* yang berfungsi mencekam dan memutar alat untuk menghasilkan gerakan dan rotasi. Rotasi *tool* yang dihasilkan dimanfaatkan pada FSW untuk menghasilkan gesekan antara *tool* dengan material yang akan dilas sehingga menimbulkan panas yang dapat melunakkan material saat proses pengelasan berlangsung. Mesin *milling* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Mesin Milling Vertikal Merk Aciera

2. Alat Uji struktur Mikro dan Makro

Uji mikrostruktur bertujuan untuk mengetahui kenampakan fisik logam yang terlihat di luar dan dapat digunakan untuk menentukan struktur / fasa susunan material. Metode pengamatan struktur mikro dengan merk *Olympus* seri SZ61 dan struktur makro dengan merk *Olympus* seri BX53M suatu bahan adalah dengan pemeriksaan mikroskopis (histologi logam) yang terdapat pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3. 3 *Mikroskop Optic Olympus* seri SZ61 dan *Mikroskop Optic Olympus* seri BX53M

3. Alat Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Balai Latihan Kerja Surakarta dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM), seperti terlihat pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3. 4 *Universal Testing Machine* (UTM) merk INSTRON 3367

4. Alat Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan *Micro Hardness Vickers* Mitsutoyo HM-100 di Laboratorium Makro dan Mikro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Alat ini ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Mikroskop Metalografi Mitutoyo HM – 100

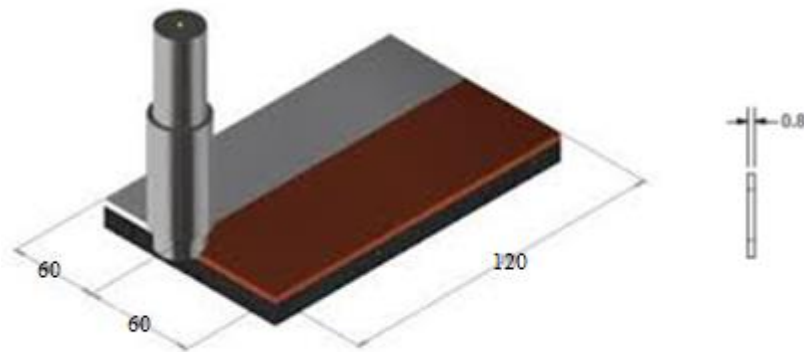
3.2.2 Bahan yang Dilakukan Dalam Penelitian

1. Aluminium Alloys 1100

Paduan aluminium yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan aluminium seri 1100 dengan panjang 120 mm, lebar 60 mm dan tebal 0,8 mm. Komposisi aluminium Aluminium 1100 adalah 99%. Aluminium 1100 memiliki kekuatan tarik rendah, tetapi memiliki ketahanan korosi, konduktivitas listrik, dan konduktivitas termal yang sangat baik. Komposisi paduan aluminium 1100 adalah sebagai berikut:

Unsur	Al	Cu	Fe	Mn	Si	Zn
Jumlah (%)	99 - 99.95	0.050 -0.2	Max 1.0	Max 0.05	Max 1.0	Max 0.1

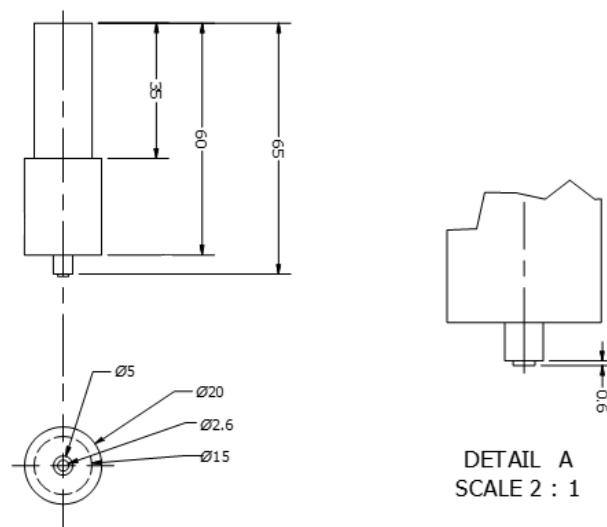
Tabel 3. 1 Komposisi Aluminium Alloys 1100 (Sukmana & Sustiono, 2016)



Gambar 3. 6 Aluminium seri 1100

2. Baja

Baja yang digunakan untuk pembuatan perkakas pin adalah jenis baja karbon tinggi ST90 dengan diameter 20 mm dan panjang 70 mm. Fungsinya sebagai alat yang terlihat pada Gambar 3.7 digunakan untuk pengelasan.

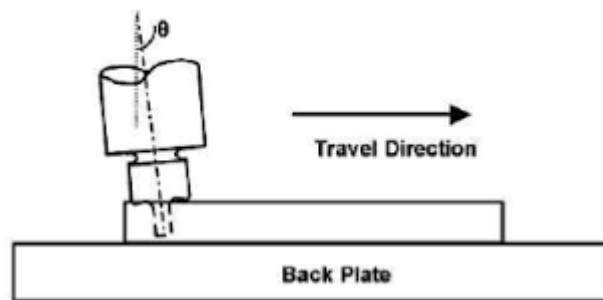
Gambar 3. 7 Design pin *Tool*

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Proses Pengelasan

Proses pengelasan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode μ FSW dengan parameter yang telah ditentukan.

1. Menggunakan Aluminium seri 1100 dengan ketebalan 0,8 mm.
2. Mempersiapkan mesin milling untuk melakukan proses pengelasan.
3. Mempersiapkan benda kerja dan alat pencekam.
4. Mengatur kecepatan putar tool menjadi 2280 rpm dengan kecepatan feed rate 85 mm/min dan sudut kemiringan 0° .
5. Mesin milling dinyalakan kemudian tool yang berputar digerakkan ke samping sehingga terjadi penyatuan material aluminium seri 1100.
6. Setelah tool berhenti berpindah dan berputar maka spesimen diindahkan dari mesin milling.
7. Proses kemudian dilakukan berulang dengan kecepatan putar tool 2280 rpm, kecepatan feed rate 85 mm/min, selanjutnya hanya mengganti sudut pada mesin milling dengan variasi sudut kemiringan tool 0° , 1° dan 2° yang terdapat pada Gambar 3.8 di bawah ini.

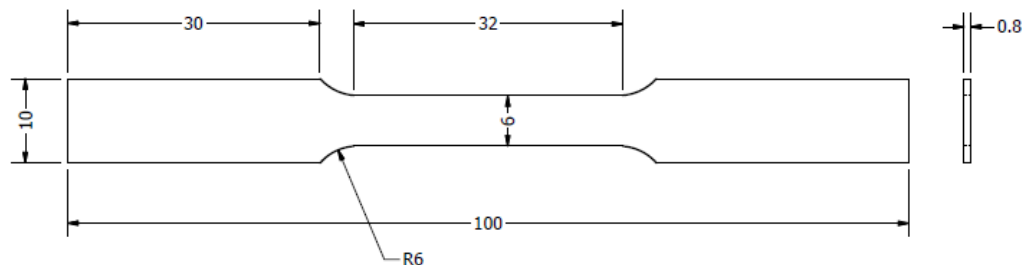


Gambar 3. 8 Skema Friction Stir Welding (Polmear, 1995)

3.3.2 Proses Pengujian Mekanik

1. Pengujian Tarik

Uji tarik dilakukan pada spesimen yang dilas. Benda uji yang digunakan untuk uji tarik disiapkan sesuai dengan standar ASTM E8 / E8M-09 (metode uji standar



Gambar 3. 9 Specimen Uji Tarik

untuk pengujian tarik produk aluminium tempa dan cor dan produk paduan magnesium (metode metrik)). Uji tarik dilakukan di Balai Latihan Kerja Surakarta. Diagram skematis dari benda uji tarik ditunjukkan di bawah ini. Foto di bawah.

Prosedur uji tarik adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan benda uji menurut standar ASTM E8 / E8M-09.
 2. Memasang benda uji tarik ke mesin penguji tarik.
 3. Menyalakan alat uji tarik dan mencatat beban tarik saat beban mencapai maksimumnya.
2. Pengujian kekerasan

Pada penelitian ini digunakan alat uji kekerasan *Micro Vickers* untuk melakukan uji kekerasan selama 10 detik dengan beban 50 gf. Selanjutnya, di awal, identitas diukur dan nilai kekerasan dihitung. Pengujian kekerasan dengan menggunakan *Micro Vickers* tester menganalisis nilai kekerasan benda uji yang telah dilas dengan metode FSW menggunakan benda uji yang tidak diberi perlakuan (BM).

Proses pengujian *Micro Vickers* dilakukan di Laboratorium Mikro dan Makro Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Langkah-langkah dalam proses pengujian dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Persiapan spesimen pengujian:
 - a. Pemotongan spesimen sebagai hasil pengelasan μ FSW.
 - b. Mengamplas permukaan spesimen hingga rata dan halus.
 - c. Membersihkan permukaan spesimen.
2. Prosedur pengujian kekerasan *Vickers*:
 - a. Menyiapkan perangkat alat uji kekerasan *Vickers*
 - b. Menghidupkan power
 - c. Menghidupkan sub power
 - d. Memilih besaran beban (*load*) menggunakan *load selector*, gunakan beban 50gf.
 - e. Menekan tombol *dwell time* untuk mengatur lamanya proses press (*dwell time*) dan mengatur waktu menjadi 10 detik.
 - f. Mengatur cahaya sesuai dengan kondisi.
 - g. Tempatkan spesimen di *anvil*.
 - h. Memutar *elevation handle* untuk fokus [menggunakan lensa 50x] dan tahap X_Y akan menentukan titik yang diinginkan.
 - i. Saat lensa berada dalam fokus, merapatkan garis *measuring microscope* dan tekan reset atau clear.
 - j. Menekan Start (turret secara otomatis akan berputar ke posisi indenter, loading, holding, release dan memutar kembali ke arah lensa.
 - k. Mengukur d1 dan d2 menggunakan *measuring microscope*.
 - l. Nilai kekerasan ditampilkan sebagai OK atau NO.
 - m. Menggunakan kaca pembesar berskala untuk mengukur panjang diagonal indentasi.
 - n. Melakukan pengujian di tempat berbeda.
3. Pengujian Struktur Makro dan Mikro

Pengujian ini bertujuan untuk melihat struktur makro dan struktur mikro pada daerah las seperti BM, TMAZ, HAZ dan SZ. Sifat mekanik dan sifat fisik dari suatu material dapat dilihat dari hasil struktur makro dan struktur mikro dari material yang telah diuji. Struktur mikro pada logam dapat ditunjukkan dengan bentuk, besar, orientasi butiran dan proporsi yang terdistribusi dan tersusun. Pada

pengujian Makro dan Mikro ini dilakukan dengan bantuan mikroskop dengan metode kerja dan koefisien pembesaran yang bervariasi.

Berikut beberapa langkah yang perlu Anda lakukan sebelum menjalankan pengujian makro dan mikro:

1. Pemotongan plat dengan menggunakan mesin jet air.
2. Melakukan mounting benda uji terhadap specimen yang telah dipotong.
3. Pengamplasan spesimen yang terpasang dilakukan secara berurutan menggunakan amplas seri 100, 200, 500, 800, 1000, 2000, 3000 dan 5000.
4. Pemolesan dengan kain Aotosol dan beludru.
5. Etsa 25 mm HCl, 25 ml HNO₃, 25 mL metanol, dan setetes Hf. Komposisi ini sesuai dengan standar ASTM E407-07. Pengambilan gambar menggunakan mikroskop optik.
6. Pengambilan foto menggunakan mikroskop optik.

3.4 Analisis Data

Setelah dilakukan pengujian sifat mekanik, struktur mikro dan makro, diperoleh hasil dari masing-masing pengujian. Nilai F_{max} yang diperoleh dari hasil uji tarik digunakan sebagai data perhitungan untuk menentukan nilai kuat tarik. Setelah itu akan dilakukan uji tarik di Balai Latihan Kerja Surakarta. Dari hasil uji tarik, diperoleh data dengan nilai kuat tarik maksimum dan regangan maksimum, serta analisis data yang diperoleh dengan Microsoft Excel dan grafik. Lakukan analisis grafik untuk menentukan kekuatan tarik tertinggi dan bandingkan dengan peneliti sebelumnya.

Pengujian kekerasan dilakukan untuk setiap variasi benda uji yang dilas, dan dari hasil tersebut hasil pengujian kekerasan diubah menjadi data berupa nilai kekerasan Vickers (HV) / (VHN), dianalisis menggunakan aplikasi Microsoft Excel, dan grafik. Bandingkan dengan studi sebelumnya.

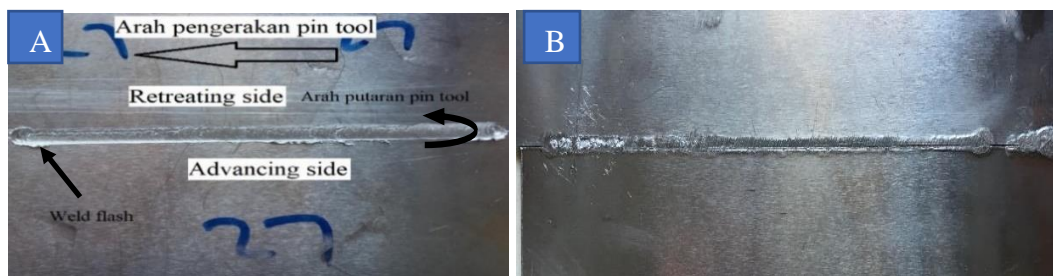
Pengujian struktur mikro dan makro di mana hasil yang diperoleh berupa foto struktur dianalisis untuk menentukan hasil di wilayah HAZ, TMAZ, SW, dan WPS.

BAB IV

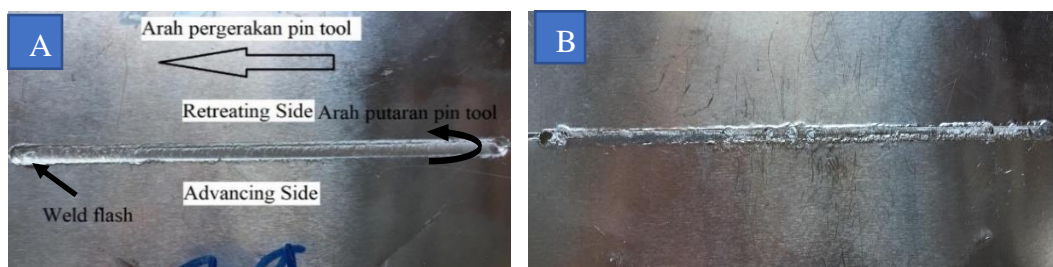
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji dan Pembahasan

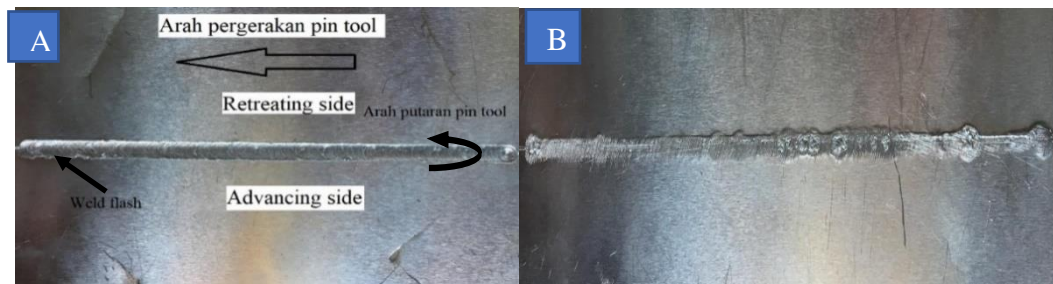
Gambar 4.1 menunjukkan hasil pengelasan aluminium dengan variasi kemiringan pin tool menggunakan metode *micro friction stir welding* (uFSW). Pengelasan FSW adalah penggunaan energi panas yang dihasilkan oleh gesekan alat las untuk memutar material yang akan disambung pada variasi kemiringan tool 0° , 1° dan 2° sehingga material yang akan disambung dapat tersambung yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.



(a) Tampak atas (kiri) dan tampak bawah (kanan)



(b) Tampak atas (kiri) dan tampak bawah (kanan)



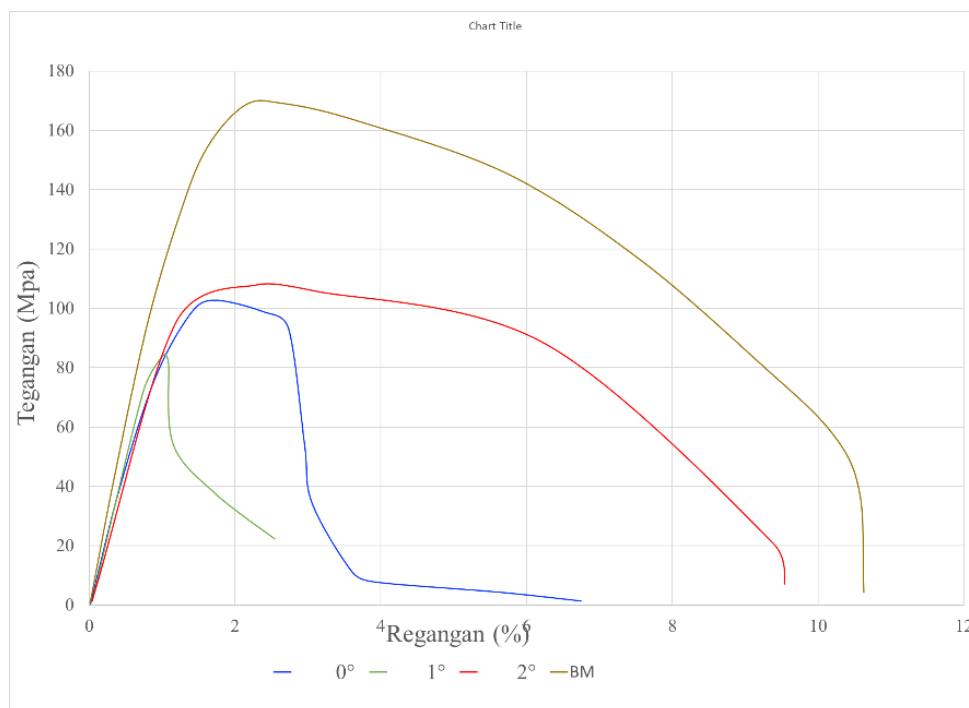
(c) Tampak atas (kiri) dan tampak bawah (kanan)

Gambar 4. 1 Analisa Permukaan uFSW Variasi Sudut Kemiringan *Tool* (a) 0° , (b) 1° , (c) 2°

Gambar 4.1 menunjukkan analisis permukaan hasil μ FSW pada hasil pengelasan sudut kemiringan tool 1° memiliki banyak lubang-lubang kecil pada bagian bawah pengelasan. Pada kemiringan 2° terdapat lubang kecil yang tidak sebanyak pada hasil pengelasan dengan kemiringan 1° dan pada bagian bawah hasil pengelasan dengan kemiringan tool 2° material tersambung secara baik, sedangkan pada hasil pengelasan yang menggunakan kemiringan tool 0° memiliki permukaan yang halus pada bagian atas pengelasan akan tetapi pada bagian bawah hasil pengelasan material menyatu tidak sebaik hasil pengelasan pada kemiringan tool 1° dan 2° .

4.2 Hasil Uji Tarik

Uji tarik dilakukan untuk menentukan nilai tegangan dan regangan pada hasil FSW menggunakan standar ASMT E8 / E8M-09. Pada uji tarik, hasilnya dibandingkan dengan nilai kuat tarik (BM) material induk tersebut. Hasil yang diperoleh dalam pengujian ini adalah nilai tegangan dan regangan. Berikut adalah hasil uji spesimen tarik dengan sudut kemiringan tool divariasikan menjadi 0° , 1° dan 2° .



Gambar 4. 2 Grafik Hasil Uji Tarik

Gambar 4.2 terlihat bahwa necking line yang dihasilkan pada logam dasar lebih panjang dari hasil uji tarik las dengan sudut kemiringan 0° , 1° dan 2° . Hal ini menandakan bahwa patahan yang terjadi pada *base metal* merupakan patahan ulet. Hasil uji tarik dengan variasi sudut kemiringan tool 0° , 1° dan 2° menunjukkan bahwa garis necking yang terjadi jauh lebih pendek dibandingkan dengan *base metal*, hal ini disebabkan karena ada cacat pengelasan *incomplete fusion*. Cacat ini disebabkan karena kurangnya heat input saat pengelasan sehingga material tidak tercampur secara baik.

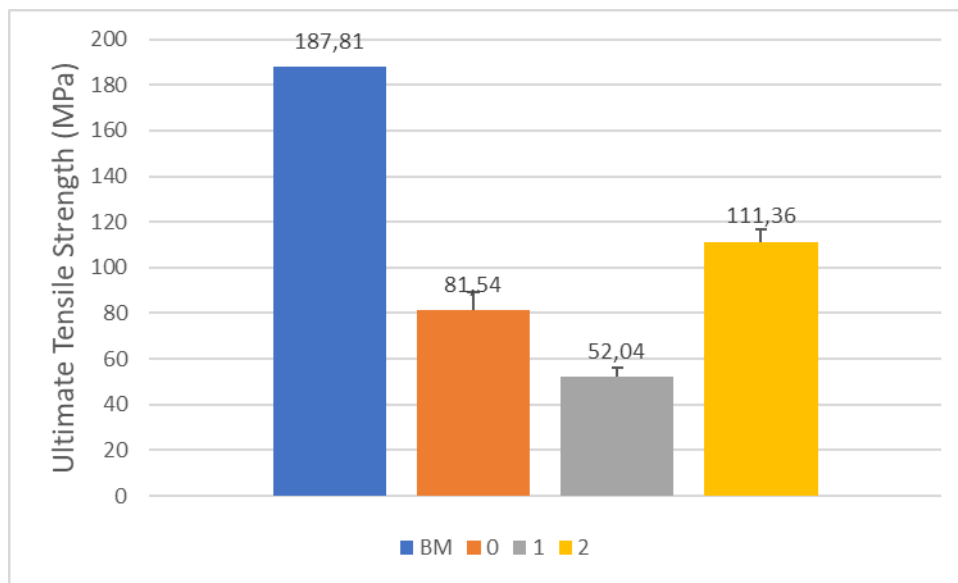
Necking yang terjadi pada hasil uji tarik variasi sudut kemiringan 2° lebih panjang dari pada variasi sudut kemiringan 0° dan 1° , hal ini disebabkan cacat *incomplete fusion* yang berbeda-beda pada tiap hasil pengelasan, hal ini dibuktikan pada Gambar 4.6. Data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Tabel Kekuatan Hasil Uji Tarik

Dari tabel di atas, grafik hubungan antara tegangan dengan variasi sudut

Sudut Kemiringan Pin Tool (°)	Kekuatan Tarik (MPa)				Rata-rata (MPa)	Standar deviasi
	Base Metal	Spesimen I	Spesimen II	Spesimen III		
0°	187,81	72,68	84,81	87,14	81,54	7,76
1°		48,19	51,35	56,60	52,04	4,24
2°		117,23	107,34	109,52	111,36	5,20

kemiringan tool (*ultimate tensile strength*) diperoleh pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Grafik Variasi Sudut Kemiringan *Tool* Terhadap *Ultimate Tensile Strength*

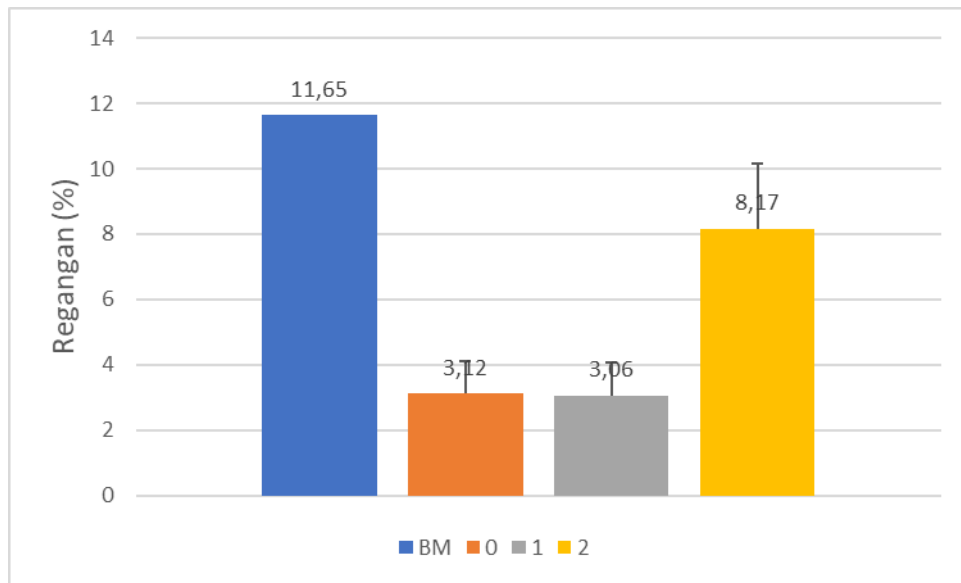
Gambar 4.3 Dilihat dari grafik pada gambar, terlihat bahwa terdapat perbedaan pada kekuatan tarik antara base material dan sambungan paduan aluminium 1100 dengan metode pengelasan *mikro friction stir welding*, dan kekuatan tarik sambungan aluminium berkurang. Jika dibandingkan dengan kuat tarik *base material*, penyebabnya adalah perubahan struktur mikro bagian logam

yang dilas akibat proses penempaan selama pengelasan. Nilai kuat tarik rata-rata tertinggi ditemukan pada pengelasan, pada variasi sudut kemiringan tool 2° yaitu 111,36 MPa dan nilai terendah yaitu 52,04 MPa, pada variasi sudut kemiringan tool 1° dan untuk sudut kemiringan tool 0° memiliki nilai kuat tarik sebesar 81,54 MPa. Alasan mengapa nilai kuat tarik perubahan sudut kemiringan tool 0° dan 1° lebih rendah dibandingkan dengan perubahan sudut kemiringan 2° adalah karena masih banyak cacat pengelasan berupa *incomplete fusion*.

Tabel 4. 2 Regangan Hasil Uji Tarik

Sudut Kemiringan Pin Tool ($^\circ$)	Regangan (%)			Rata-rata (%)	Standar deviasi	
	Base Metal	Spesimen I	Spesimen II			Spesimen III
0°	11,65	2,28	1,16	5,92	3,12	2,49
1°		0,94	6,37	1,88	3,06	2,90
2°		10,88	9,54	4,08	8,17	3,60

Dari tabel di atas, grafik hubungan antara regangan dengan variasi sudut kemiringan *tool* seperti yang diperoleh pada Gambar 4.4



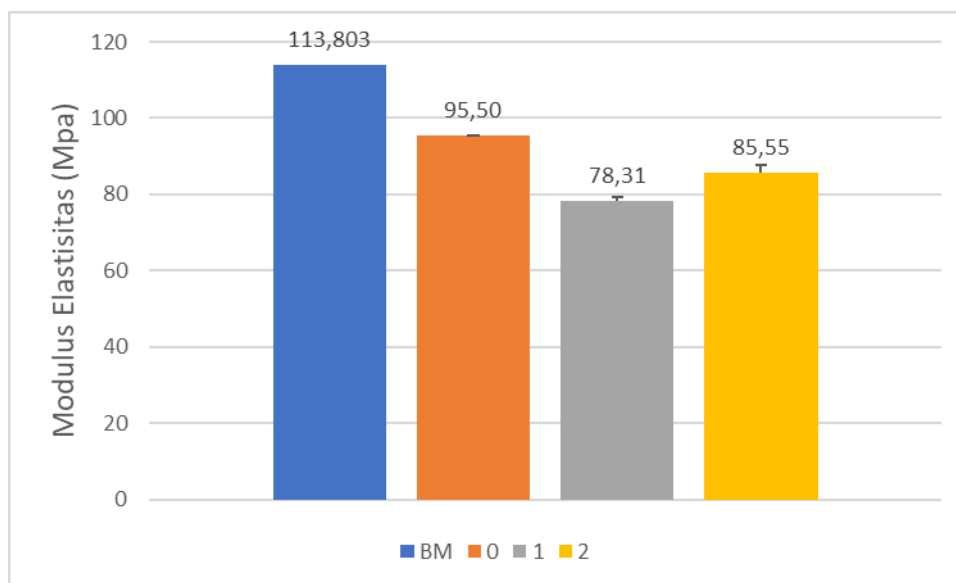
Gambar 4. 4 Grafik Variasi Sudut Kemiringan *Tool* Terhadap Regangan

Gambar 4.4 terlihat bahwa nilai regangan untuk setiap variasi hasil pengelasan masih dibawah nilai BM yang mencapai 11,65%. Pada hasil pengelasan nilai regangan maksimum sebesar 2° dan nilai regangan sebesar 8,17% karena adanya variasi sudut kemiringan tool. Sedangkan nilai terendah Jika variasi sudut kemiringan tool 1° dan nilai regangan 3,12%, dan jika variasi sudut kemiringan 0° nilai regangan 3,06%. Kenaikan nilai regangan perbanding lurus dengan tegangan.

Sudut Kemiringan Tool (°)	Modulus Elastisitas (GPa)				Rata-rata (GPa)	Standar deviasi
	Base Metal	Spesimen I	Spesimen II	Spesimen III		
0°	113,80	98,47	87,17	100,87	95,50	7,32
1°		74,09	76,02	84,82	78,31	5,72
2°		79,64	81,67	95,34	85,55	8,54

Tabel 4. 3 Tabel Modulus Elastisitas

Dari Tabel 4.3 didapat grafik hubungan antara modulus elastisitas dengan variasi sudut kemiringan tool yang diperoleh pada gambar 4.5

Gambar 4. 5 Grafik Variasi Sudut Kemiringan *Tool* Terhadap *Modulus Elastisitas*

Gambar 4.5 terlihat bahwa nilai modulus elastisitas tertinggi berada pada perubahan variasi sudut kemiringan tool sebesar 1° yaitu sebesar 81,69 GPa dan *modulus elastisitas* minimum terdapat pada perubahan variasi sudut kemiringan tool sebesar 0° memiliki nilai *modulus elastisitas* rata-rata sebesar 69,88 GPa dan sudut kemiringan 2° diperoleh nilai *modulus elastisitas* 81,51 Gpa. Tingginya nilai modulus elastisitas menunjukkan kekakuan atau kegetasan suatu material, dalam hal ini spesimen hasil pengelasan memiliki nilai kegetasan tertinggi pada variasi sudut kemiringan tool 1° dikarenakan adanya cacat incomplete fusion yang lebih besar pada variasi kemiringan tool 1° jika dibanding dengan variasi lainnya.

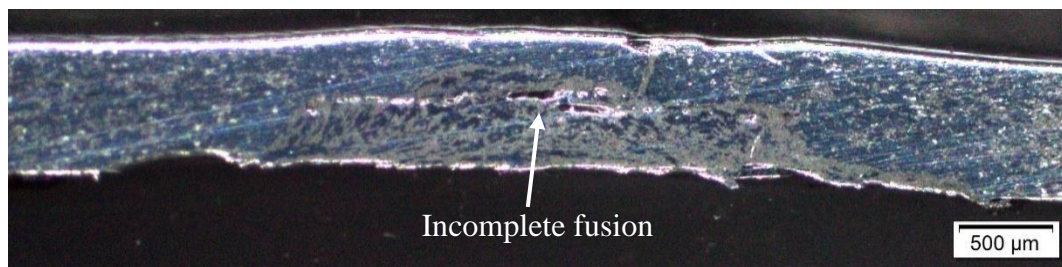
4.4 Hasil Foto Makro dan Micro

Pengujian makro dan mikro dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Sebelum melakukan pengamatan fotografi makro dan mikro, terlebih dahulu spesimen dietsa. Pengetsa yang

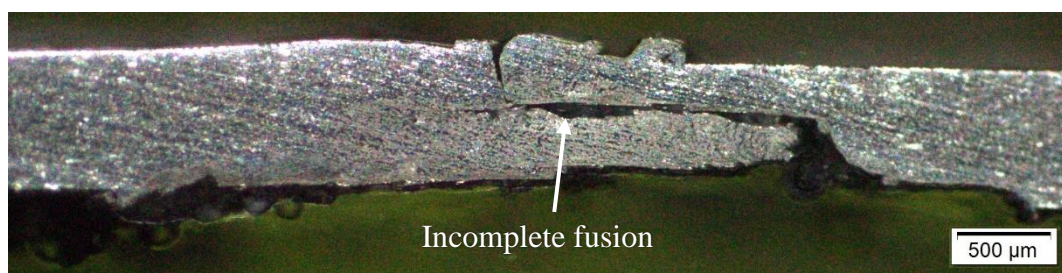
digunakan sesuai dengan standar ASTM E8, praktik standar untuk logam dan paduan pengambilan mikro. Pengetsaan diaplikasikan pada seri aluminium 1100 menggunakan standar etsa yang terdiri dari 25 mL HNO₃, 25 HCl 25 mm, methanol 25 mL dan Hf satu tetes. Proses etsa berlangsung selama 30-40 detik dan waktu yang tepat dipilih untuk mencegah spesimen terbakar dan menghitam. Jika benda uji direndam dalam larutan etsa untuk waktu yang lama, benda itu akan berwarna kecoklatan dan batas butir serta lasan tidak akan terlihat.

4.4.1 Hasil Foto Makro

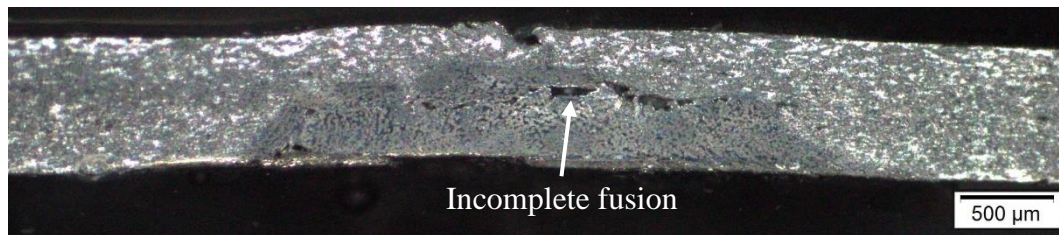
Struktur makro untuk mengidentifikasi dan membedakan luas pengelasan yang terdiri dari *base metal* (BM), *stir zone* (SZ), *heat affected* (HAZ), dan bagian pengaruh *termomechanically affected zone* (TMAZ) pada hasil pengelasan μ FSW. Telah diamati.



(a) Sudut Kemiringan *Tool* 0°



(b) Sudut Kemiringan *Tool* 1°



(c) Sudut Kemiringan *Tool* 2°

Gambar 4. 6 Foto Makro hasil Pengelasan uFSW

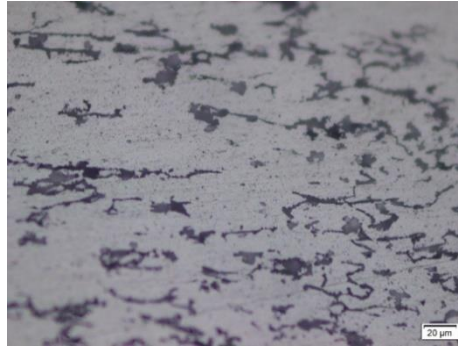
Gambar 4.6 dapat dilihat hasil foto makro pengelasan dengan sudut kemiringan tool 0°,1° dan 2°. Semua variasi pengelasan memiliki cacat *incomplete fusion*. Cacat *incomplete fusion* adalah cacat yang terjadi ketika bahan pengelasan tidak sepenuhnya tercampur pada sambungan yang dilas. Pengelasan pada sudut kemiringan tool 1° memiliki banyak cacat *incomplete fusion* yang disebabkan oleh *heat input* yang rendah.

Dilihat dari foto-foto hasil uji makro, terdapat cacat pengelasan berupa *incomplete fusion*. Cacat ini merupakan cacat dimana hasil pengelasan tidak tercampur dan terdapat lubang atau celah pada daerah pengelasan. Cacat ini mungkin disebabkan oleh kurangnya panas gesekan pada benda kerja yang menyebabkan pelunakan benda kerja dan pencampuran bahan benda kerja yang tidak sempurna. Hal yang sama dikemukakan dalam penelitian sebelumnya oleh (Budi dkk, 2018).

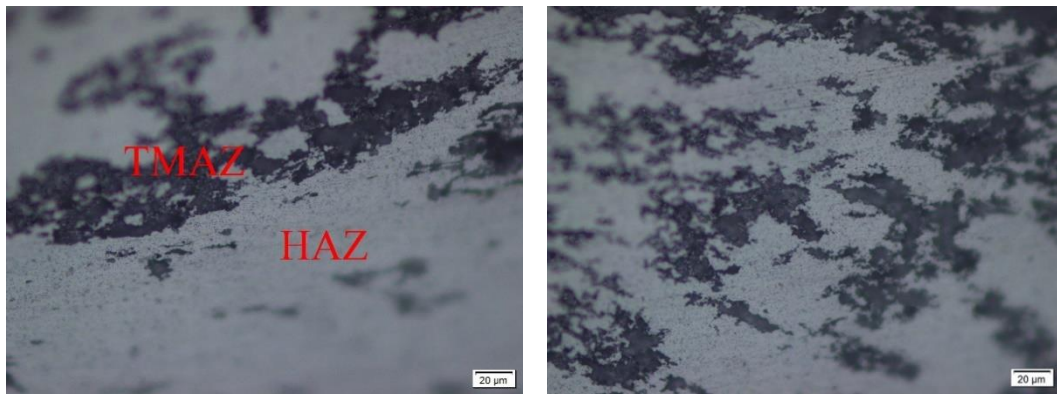
4.4.2 Hasil Foto Mikro

Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk mengetahui proses *micro friction stir welding*, yaitu perubahan struktur mikro pada Aluminium Alloy 1100 yang terjadi pada *base metal*, HAZ, TMAZ, dan *stir zona / nugget*. Pada proses μ FSW Aluminium Alloy 1100 hanya partikel pada daerah *stir zona* yang dimurnikan dan tidak ada logam pengisi yang digunakan pada pengelasan ini, sehingga tidak terjadi perubahan fasa. Berdasarkan buku ASM *Handbook Metallography and Microstructure*, partikel hitam yang ditemukan pada hasil

pengujian mikrostruktur adalah $FeAl_3$, seperti terlihat pada Tabel 4.1. Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengamatan struktur setiap benda uji.



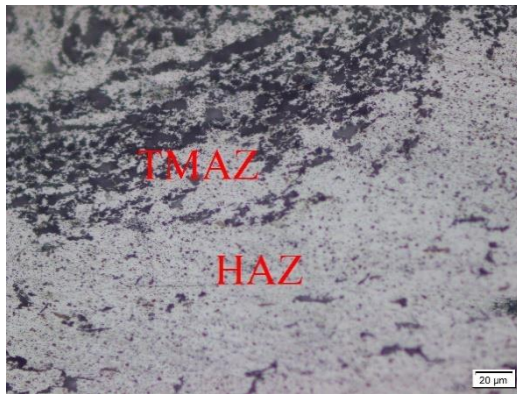
Gambar 4. 7 Struktur Mikro Base Metal Aluminium AA1100 dengan Pembesaran 500 X



(a) HAZ dan TMAZ

(b) SZ

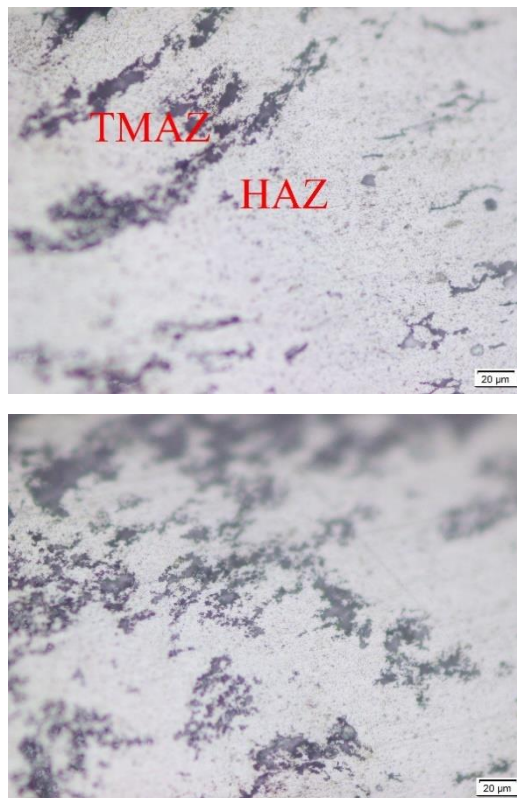
Gambar 4. 8 Struktur Mikro Variasi Sudut Kemiringan *Tool* 0°



(a) HAZ dan TMAZ

(b) SZ

Gambar 4. 9 Struktur Mikro Variasi Sudut Kemiringan *Tool* 1°



(a) HAZ dan TMAZ

(b) SZ

Gambar 4. 10 Struktur Mikro Variasi Sudut Kemiringan *Tool* 2°

Gambar 4.8, 4.9, dan 4.10 menunjukkan hasil foto mikrostruktur μ FSW dengan sudut kemiringan tool diubah menjadi 0°, 1° dan 2°. Dilihat dari struktur mikro, stir zone menunjukkan distribusi partikel FeAl_3 yang lebih banyak. Hal ini terjadi karena stir zone mengalami proses stirring selama proses pengelasan sehingga menyebabkan perubahan sebaran partikel. Pada heat affected zone (HAZ), tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara struktur dan mikro dari base metal. Hal ini dikarenakan panas yang dihasilkan tidak cukup tinggi dan berpengaruh kecil terhadap perubahan mikrostruktur.

Gambar 4.8 (b), 4.9 (b), dan 4.10 (b) menunjukkan perbedaan ukuran partikel antara grain size dan ukuran butir. Pada base metal, ukuran partikel yang terbentuk lebih halus dibandingkan dengan base metal. Ukuran grain size pada stir zone dipengaruhi oleh temperatur yang terdapat pada stir zone dan proses stirring

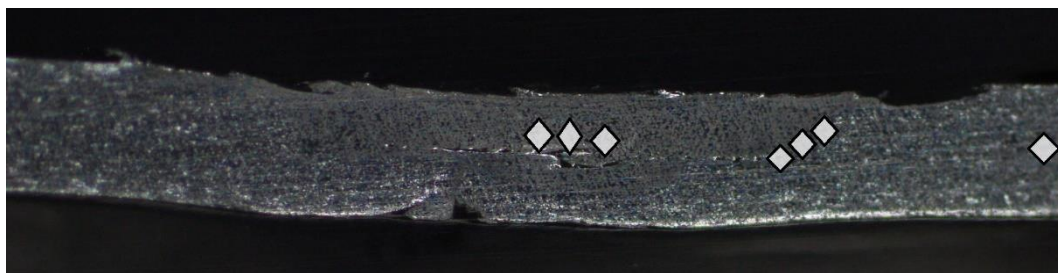
yang menyebabkan rekristalisasi, dan grain size pada stir zona menjadi lebih halus. Partikel yang lebih halus meningkatkan kekuatan spesimen (Tarmizi, 2017)

Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa aliran material dari masing-masing parameter pengelasan terlihat jelas, daerah stir zona dibentuk oleh perputaran pin tool HAZ dan BM yang baik-baik saja akibat pengaruh putaran tool saat proses stirring. Tidak ada perubahan struktural.

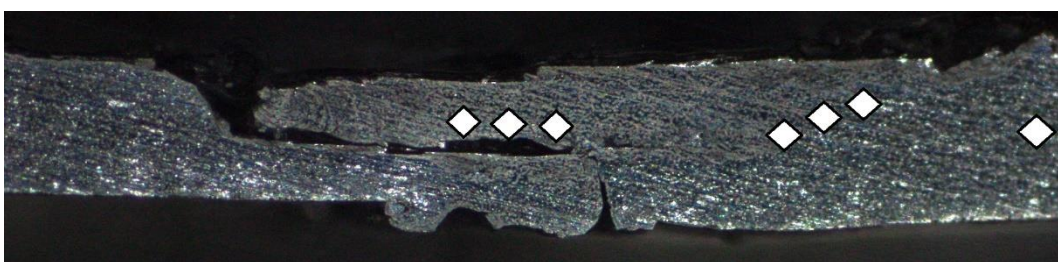
4.5 Hasil Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan dengan menggunakan Micro Hardness Vickers. Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah 50gf dalam 10 detik. Jarak penetrasi setiap indentor adalah 250 mikron pada area las dan area logam dasar. Uji kekerasan dilakukan pada setiap benda uji yang dilas dengan memvariasikan kecepatan pahat pin. Tabel berikut menunjukkan hasil pengujian kekerasan pada daerah zona base metal, HAZ, dan pengadukan. Berikut adalah grafik yang membandingkan nilai kekerasan rata-rata untuk setiap variasi.

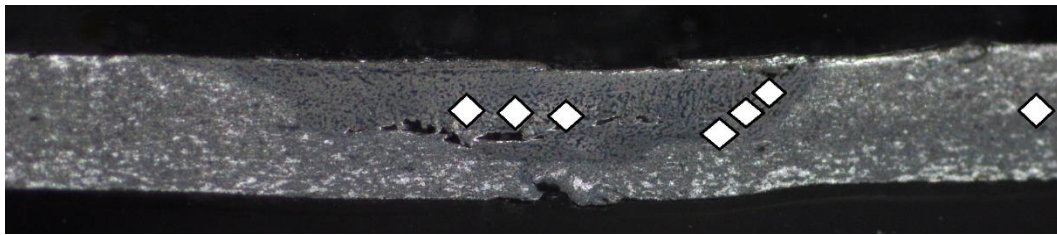
Pengujian dilakukan pada 7 titik untuk setiap spesimen. Penentuan titik uji ditunjukkan pada Gambar 4. 11 berikut ini.



(a)



(b)



(c)

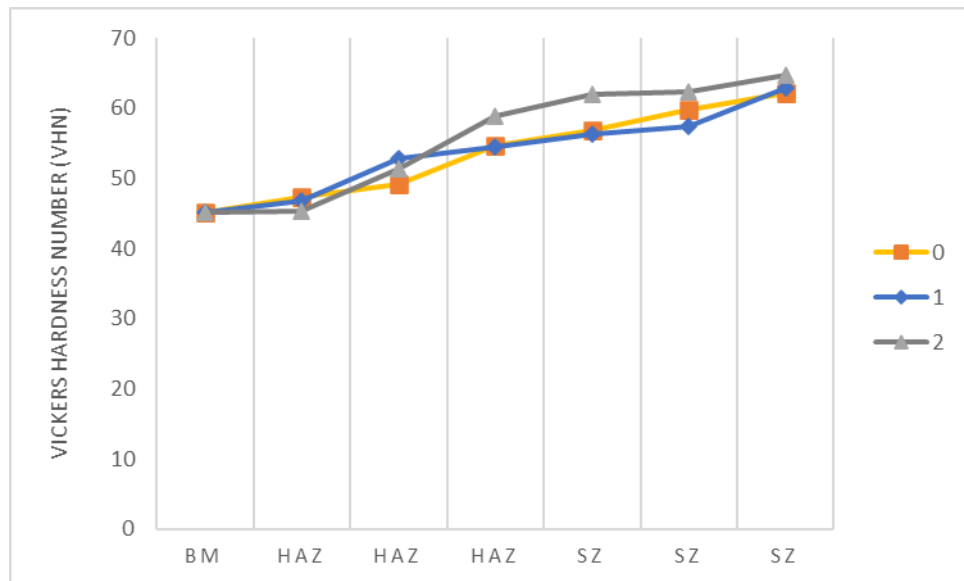
Gambar 4. 11 Titik Pengujian Kekerasan *Micro Vickers* dengan Variasi Kemiringan *Tool* (a) 0° (b) 1° (c) 2°

Hasil dari pengujian kekerasan menggunakan micro vicker dapat dilihat Tabel 4.4

Sudut Kemiringan Tool ($^\circ$)	Base Metal (VHN)	HAZ (VHN)			Stir Zone		
		I	II	III	I	II	III
0°	45	47,3	49,2	54,7	56,8	59,7	62,2
1°		46,8	52,9	54,4	56,3	57,3	62,8
2°		45,3	51,4	58,9	62	62,3	64,7

Tabel 4. 4 Data Hasil Pengujian kekerasan

Kemudian dari hasil pengujian kekerasan pada Tabel 4.4, Anda dapat membuat grafik perbandingan nilai kekerasan rata-rata untuk setiap variasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4. 12 Grafik Uji Kekerasan

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada daerah HAZ dan daerah zona pengadukan mengalami peningkatan dibandingkan dengan nilai kekerasan pada logam dasar. Peningkatan kekerasan pada HAZ dan zona pengadukan disebabkan struktur mikro yang terbentuk akibat proses pengelasan lebih kecil dari mikrostruktur logam dasar. Semakin kecil ukuran partikelnya, semakin besar jumlah partikelnya. Dengan bertambahnya jumlah butir kristal, luas batas butir kristal menjadi lebih besar, sehingga mekanisme pengendapan pada batas butir kristal dan akumulasi penataan ulang bertambah, dan material menjadi lebih keras. Dengan bertambahnya jumlah batas butir, pergerakan dislokasi menjadi lebih sulit atau terhambat. (Wicaksana, 2016). Alasan lain mengapa nilai kekerasan HAZ dan zona pengadukan lebih tinggi dari pada bahan dasar (BM), yaitu paduan aluminium 1100 memiliki $FeAl_3$ yang merupakan senyawa yang terbentuk dari reaksi aluminium dan Fe, dan aluminium bereaksi terhadap 0,4. Gabungkan dengan Fe over. % Fe. Semakin besar jumlah partikel $FeAl_3$ yang terbentuk, semakin sulit gerakan penataannya dan semakin kuat dan keras aluminiumnya.

Riyadi (2019) menyatakan dalam studinya bahwa stir zona memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan base metal paduan

aluminium 1100. Dengan feed rate 70 mm / menit dan kecepatan putar pin pahat 10.000 rpm, nilai kekerasan stir zona lebih tinggi 71,5 VHN dibandingkan kekerasan base metal yaitu 45 VHN.

Hasil penelitian menghasilkan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah stir zone variasi kemiringan tool yaitu sebesar 64,7 VHN. Hal ini dikarenakan ukuran butir pada hasil pengelasan variasi kemiringan 2° lebih halus yang dapat dilihat pada Gambar 4.10.

4.6 Faktografi

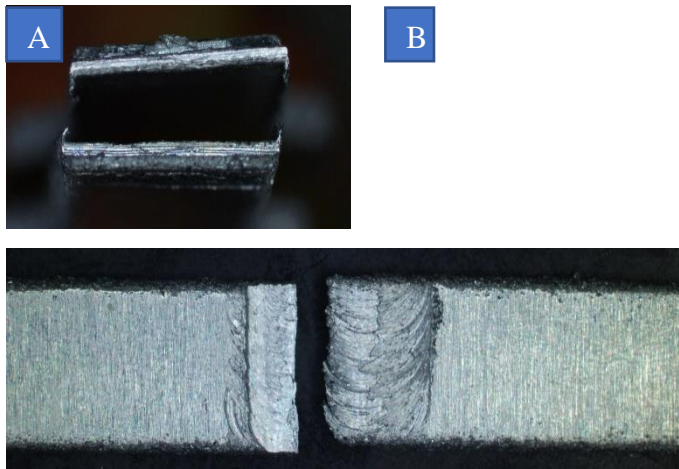
Setelah melakukan uji tarik, benda uji dikenai analisis permukaan patahan untuk memastikan permukaan patahan yang dihasilkan pada benda uji. Di bawah ini:

1. Variasi Sudut Kemiringan Tool 0°



Gambar 4. 13 Perpatahan Specimen Sudut Kemiringan *Tool* 0° ,(a) Tampak Depan Bagian patahan Las (b) Tampak Atas Bagian patahan Las

2. Variasi Sudut Kemiringan Tool 1°



Gambar 4. 14 Perpatahan Specimen Sudut Kemiringan *Tool* 1° ,(a) Tampak Depan Bagian patahan Las (b) Tampak Atas Bagian patahan Las

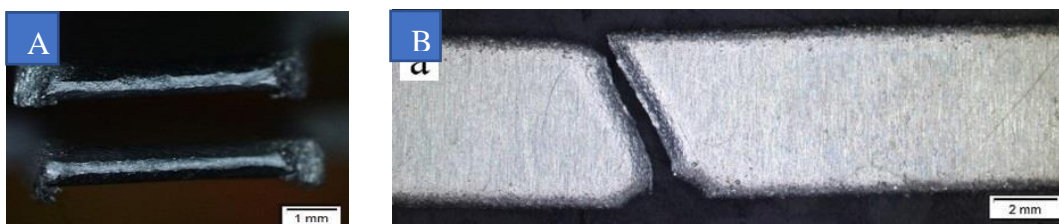
3. Variasi Sudut Kemiringan *Tool* 2°



Gambar 4. 15 Perpatahan Specimen Sudut Kemiringan *Tool* 2° ,(a) Tampak Depan Bagian patahan Las (b) Tampak Atas Bagian patahan Las

4. Base Metal

Gambar 4.13, 4.14 dan 4.15 menunjukkan bentuk patahan dari hasil uji tarik. Semua variasi kemiringan pengelasan menyebabkan putusya pengelasan. Hal ini dikarenakan kekuatan sambungan las lebih rendah dari kekuatan *base metal* akibat cacat pada daerah las dan perubahan struktur mikro. Dari hasil faktografi spesimen, sambungan proses pengelasan *micro friction stir welding* dapat diklasifikasikan sebagai patah getas. Ini karena tidak ada necking di area



Gambar 4. 16 Perpatahan Specimen BM,(a) Tampak Depan Bagian patahan Las (b) Tampak Atas Bagian patahan Las

spesimen yang diuji.

Pada Gambar 4.13, 4.14 dan 4.15, menunjukkan patahan terjadi di wilayah SZ dan benda uji tarik tidak mengalami penyusutan sebelum mencapai titik patahannya. Patahan yang ditimbulkan pada daerah SZ adalah patah getas. Hal ini juga dinyatakan dalam penelitian (Harsanto & Mahardika, 2019) dimana patahan uji tarik yang terjadi di daerah SZ adalah patah getas. Khusus untuk benda uji yang dilas dengan sudut kemiringan 0° dan 1° , terdapat cacat incomplete fussion pada hasil pengelasan, dan benda uji yang dilas tidak disambung dengan baik sehingga dapat menyebabkan patah getas. Pembuktian ini dapat dilihat pada Gambar 4.6. Di sini nilai kekuatan tarik rata-rata untuk masing-masing variasi sudut kemiringan tool 0° , 1° dan 2° memiliki nilai kekuatan yang lebih rendah dari nilai kuat tarik base metal. Pada Gambar 4.17 hasil patahan terdapat necking pada material sebelum mengalami kepatahan, hal ini menunjukkan bahwa patahan yang terjadi pada base metal merupakan patahan ulet.

Perbedaan bentuk patahan dari setiap variasi sudut kemiringan tool disebabkan oleh perbedaan sudut kemiringan tool yang menyebabkan terjadinya pengadukan material pada saat proses pengelasan, hal ini juga menyebabkan cacat incomplete fussion pada hasil pengelasan yang bisa dilihat pada Gambar 4.6. Hal serupa juga disampaikan (Ade, 2018).

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan Analisa data dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Dari pengamatan uji makro terdapat cacat lasan berupa *incomplete fusion*. Hasil pengujian mikro menunjukkan bahwa wilayah SZ memiliki partikel halus pada struktur materialnya, hal ini disebabkan tegangan dan temperatur yang tinggi selama proses pengelasan, yang menyebabkan material mengalami rekristalisasi di daerah pengadukan.
2. Semakin besar sudut kemiringan tool maka semakin tinggi nilai kekerasan. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada variasi kemiringan tool 2° yaitu sebesar 64,7 VHN, sedangkan nilai terendah pada daerah SZ juga terdapat pada variasi sudut kemiringan tool 1 yaitu sebesar 56,3 VHN, hal ini disebabkan semakin besar sudut kemiringan maka semakin halus butir yang dihasilkan saat pengelasan menyebabkan kekerasan pada material meningkat.
3. Dari uji tarik didapat nilai kekuatan tarik raw material mencapai 187,81 MPa sedangkan nilai kekuatan tarik tertinggi pada material hasil pengelasan hanya mencapai 111,36 MPa pada variasi sudut kemiringan tool 2°. Nilai terendah terdapat pada material hasil pengelasan dengan variasi sudut kemiringan 1° yaitu sebesar 63,20 MPa.
4. Hasil dari pengamatan uji makro menunjukkan adanya cacat pengelasan berupa *incomplete fusion* yang disebabkan kurangnya masukan panas, sehingga material tidak melunak secara baik sehingga tidak teraduk secara sempurna.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian pengelasan FSW yang telah dilakukan penulisan, beberapa saran sebagai berikut:

1. Perlakukan heat treatment agar bercampur dengan baik.

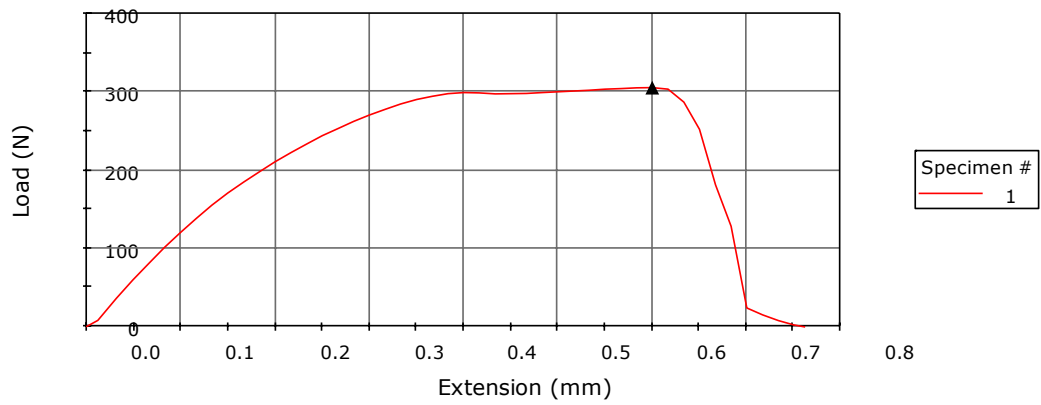
DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook 2003, *Physical metallurgy and processes*, Vol 1, hal 501.
- ASTM. 2010. "Standart Test Methods for Tension Testing of Metallic Material, ASTM E8/E8M-09".
- Ahmed, S., Shubhrant, A., Deep, A., & Saha, P. (2014). *Development and Analysis of Butt and Lap welds in Micro Friction Stir Welding (μ FSW)*. *Aimtdr*, 1–5.
- ASTM. (2010). Standard Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials. Dalam A. E. 09.
- Faruq, R. A. Y., Jokosisworo, S., & Hadi, E. S. (2019). Analisa Pengaruh Perbedaan Diameter Pin Tool terhadap Kekuatan Tarik, Impak, Dan Mikrografi Pada Aluminium 6061 Dengan Metode Pengelasan Friction Stir Welding (FSW). *Teknik Perkapalan*, 7(2), 152–160.
- Harsanto, Y., & Mahardika, M. (2019). Sifat Mekanik Micro Friction Stir Welding Pada Plat Aluminium AA 1100 dengan Ketebalan 400 μ M. Prosiding Seminar Nasional Energi & Teknologi (Sinergi) 2017, 292–296.
- Muku, K. M. D. I. (2009). Kekuatan Sambungan Las Aluminium Seri 1100 dengan Variasi Kuat Arus Listrik Pada Proses Las Metal Inert Gas (MIG) Welding Connection Strenght of Aluminium 1100 with Current Variations at Metal Inert Gas (MIG) Welding Process. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(1), 11–17.
- Ma'arif, M. S. (2017, 9 7). Teknologi Terkini Friction Stir Welding untuk Aplikasi di Dunia Penerbangan. *SAINTEK*, 2, 11.
- Nur, M., Syahrani, A., & Naharuddin. (2018). Analisis Kekuatan Tarik, Kekerasan, Dan Struktur Mikro Pada Pengelasan Smaw Stainless Steel 312 Dengan Variasi Arus Listrik. *Jurnal Mekanikal*, 9(1), 814–822. <http://jurnal.untad.ac.id/jurnalindex.php/Mekanikal/article/download/104668247>
- Rahman, M. B. N., Nugroho, A. W., & Wardhana, B. S. (2018). Pengaruh Feed Rate dan Kecepatan Putar Pin Tool Friction Stir Welding (FSW) terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Aluminium 5052. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, 2(2), 83–95. <https://doi.org/10.18196/jmpm.2224>
- Riyadi, M. R., Jokosisworo, S., & Zakki, A. F. (2019). Analisa Sifat Mekanis Pada Sambungan Micro Friction Stir Welding Material Aluminium AA1100 dengan Menggunakan Putaran Tinggi. *Jurnal teknik perkapalan. Teknik Perkapalan*, 7(4), 494–503.
- Tarmizi, T., Wijaya, F. O., & Irfan, I. (2019). Pengaruh Variasi Diameter Tool Pin Pada Friction Stir Welding Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Sambungan Aluminium 6061-T6. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kelautan*, 16(3), 91–99. <https://doi.org/10.14710/kapal.v16i3.23280>
- Wijayanto, J., & Anelis, A. (2010). Pengaruh Feedrate terhadap Sifat Mekanik pada Pengelasan Friction Stir Welding Aluminium 6110. *Jurnal Kompetensi Teknik* 2, 12.

LAMPIRAN**Hasil Uji Tarik**

Variasi sudut kemiringan tool 0°

Specimen 1 to 3

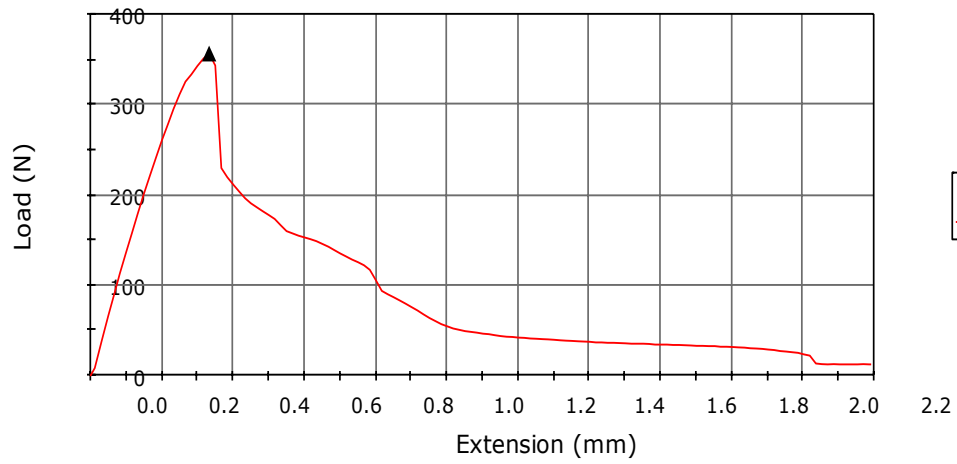
Specimen
1 to 1

	Maximum Load (N)
1	305.25

Variasi sudut kemiringan tool 0°

Specimen 2 to 3

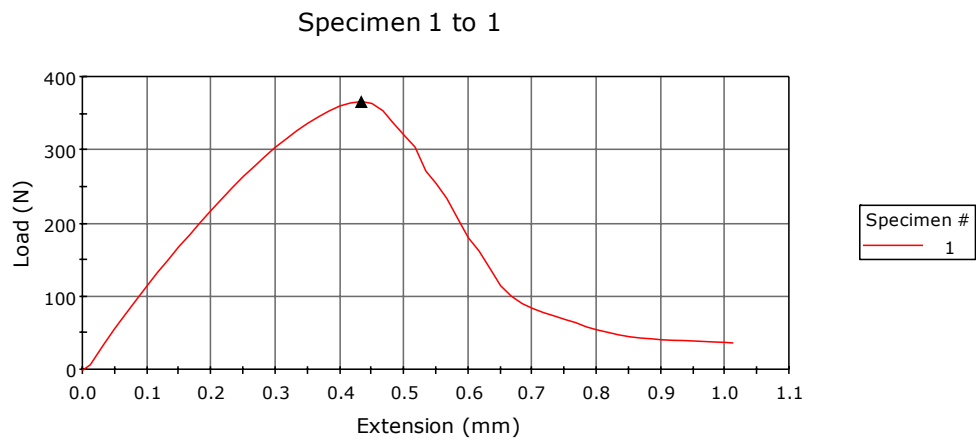
Specimen
1 to 1



	Maximum Load (N)
1	356.22

Variasi sudut kemiringan tool 0°

Specimen 3 to 3

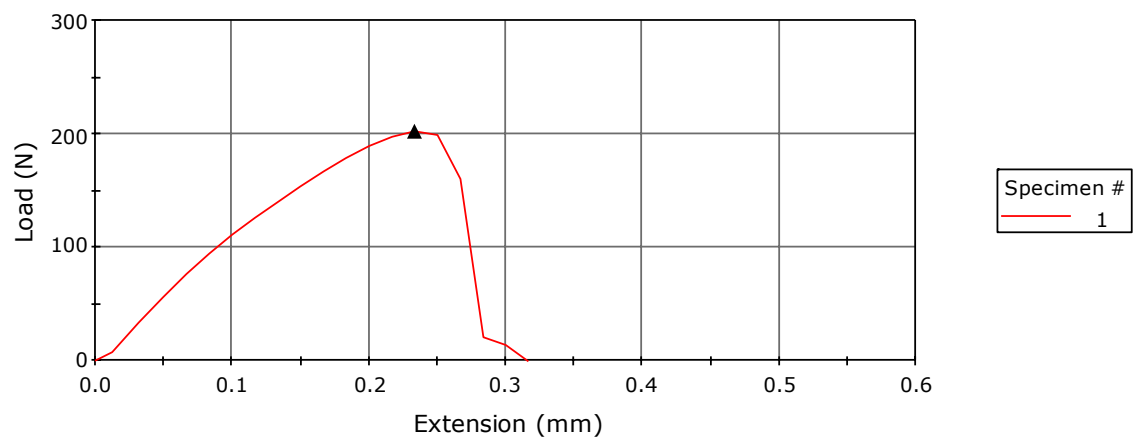


Specimen #	Maximum Load (N)
1	365.97

Variasi sudut kemiringan tool 1°

Specimen 1 to 3

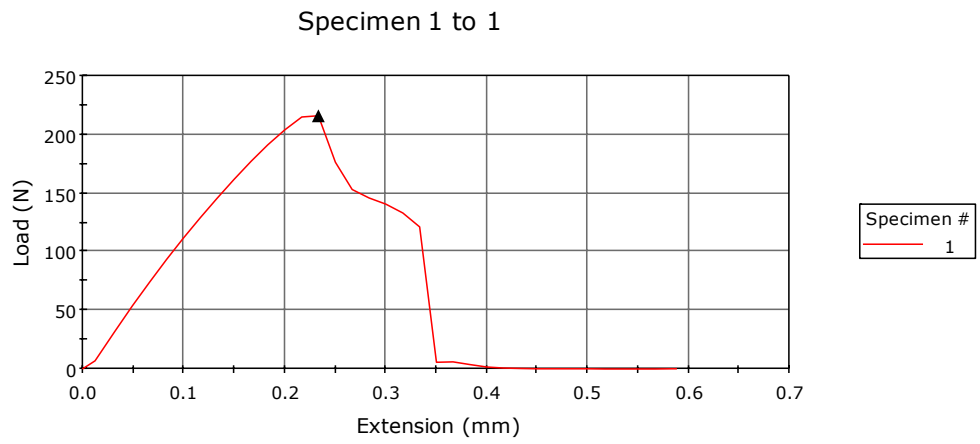
Specimen 1 to 1



	Maximum Load (N)
1	202.41

Variasi sudut kemiringan tool 1°

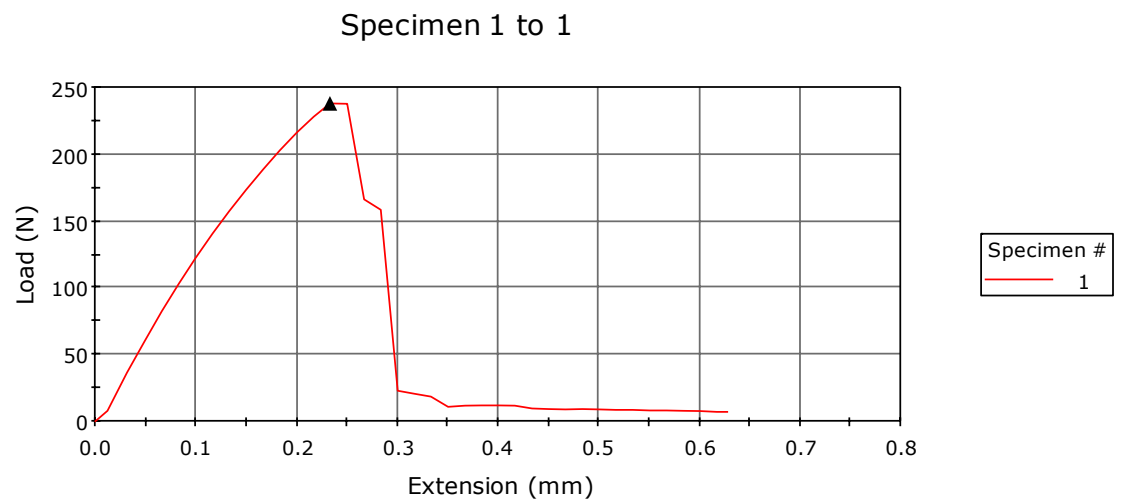
Specimen 2 to 3



	Maximum Load (N)
1	215.65

Variasi sudut kemiringan tool 1°

Specimen 3 to 3

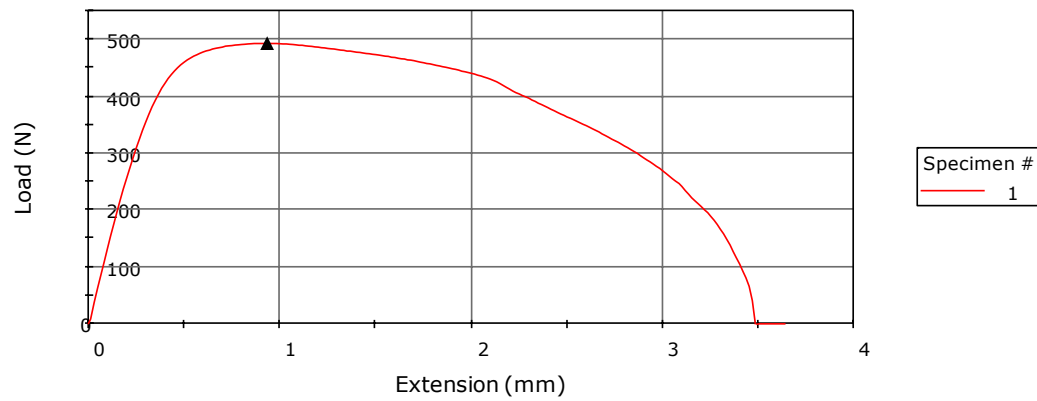


	Maximum Load (N)
1	237.70

Variasi sudut kemiringan tool 2°

Specimen 1 to 3

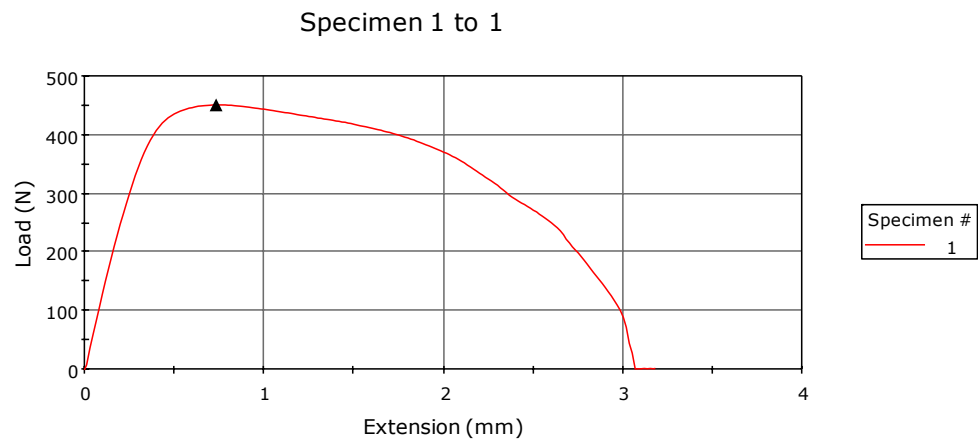
Specimen 1 to 1



	Maximum Load (N)
1	492.38

Variasi sudut kemiringan tool 2°

Specimen 2 to 3

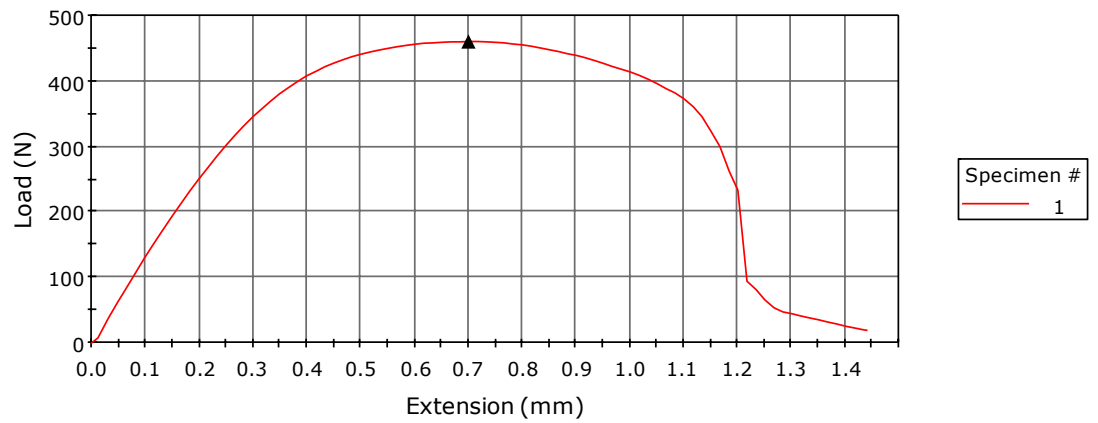


	Maximum Load (N)
1	450.82

Variasi sudut kemiringan tool 2°

Specimen 3 to 3

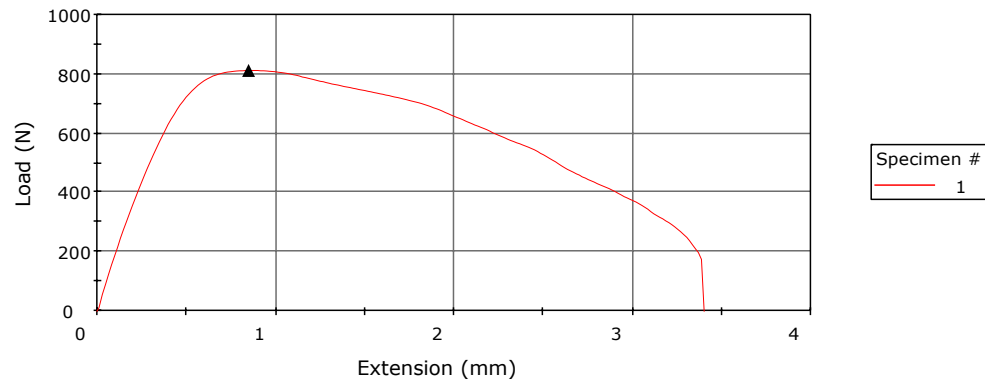
Specimen 1 to 1



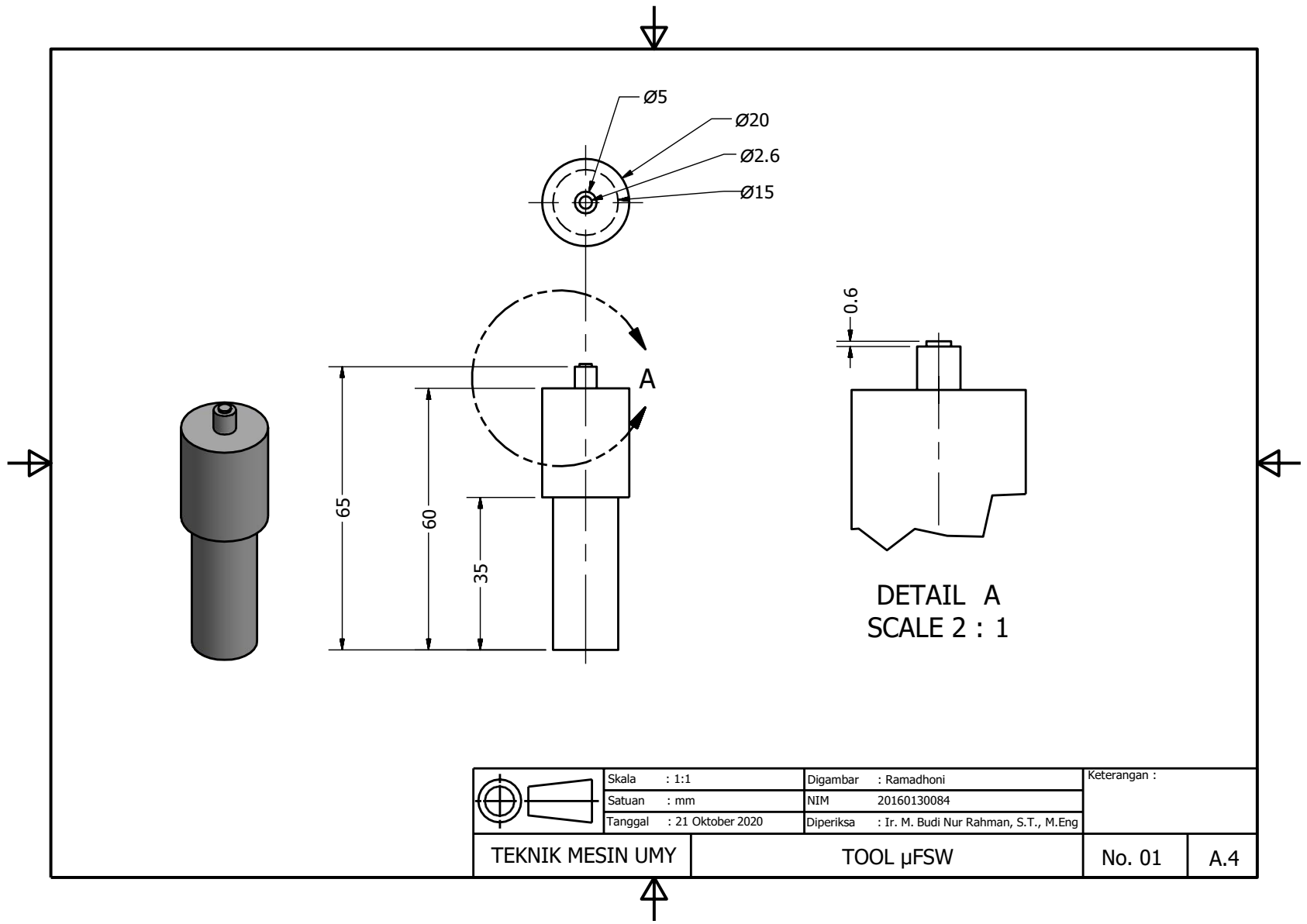
	Maximum Load (N)
1	459.98

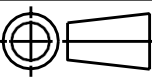
Base Metal

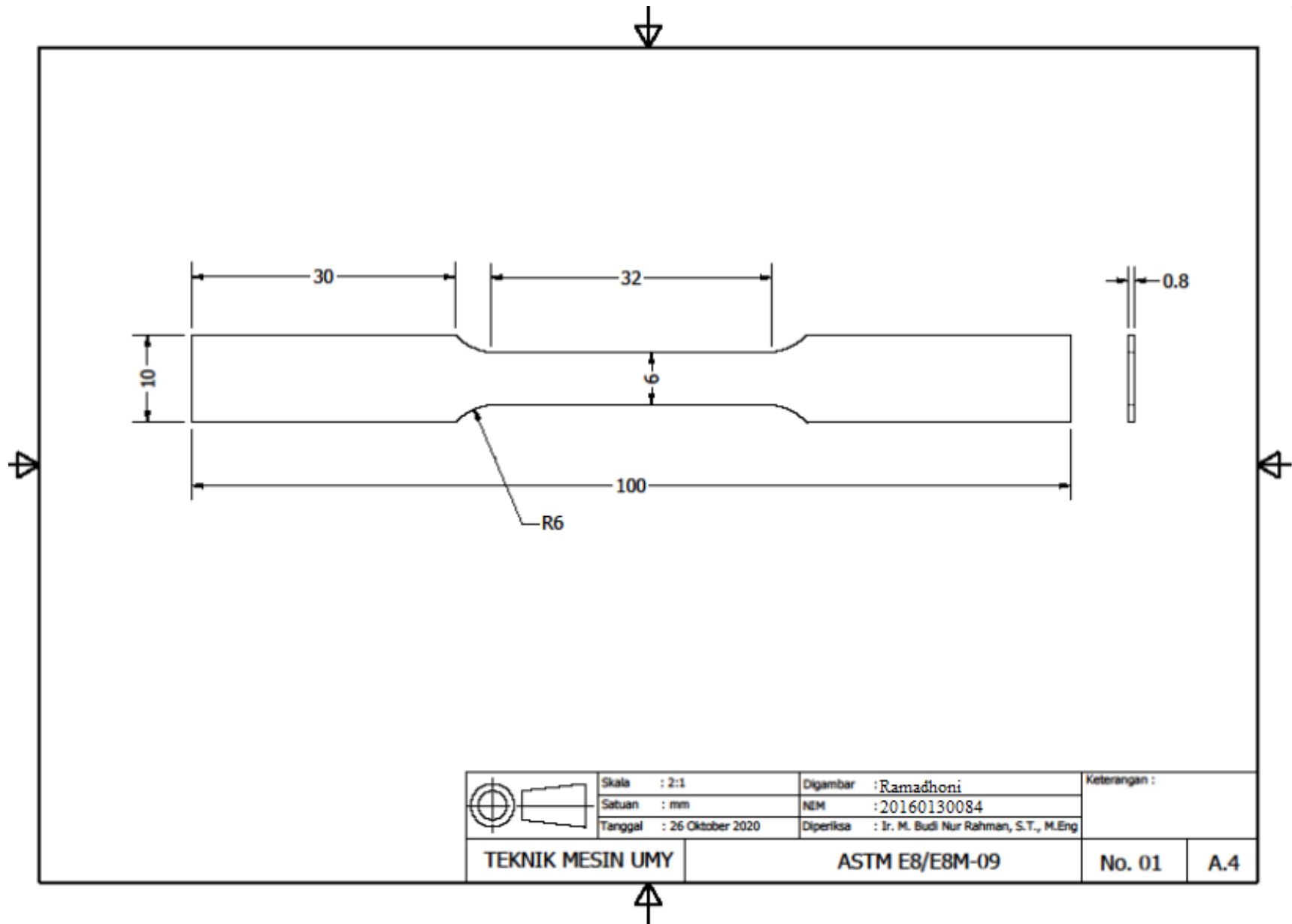
Specimen 1 to 1



	Maximum Load (N)
1	811.92

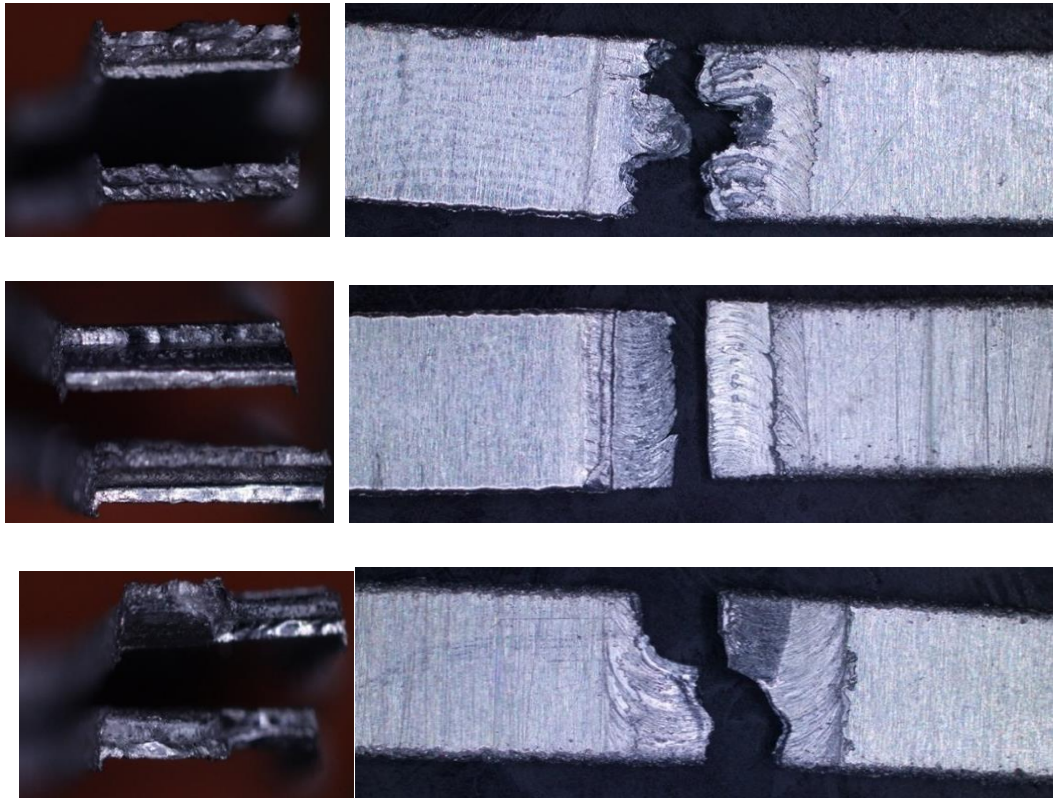


	Skala : 1:1	Digambar : Ramadhoni	Keterangan :	
	Satuan : mm	NIM : 20160130084		
	Tanggal : 21 Oktober 2020	Diperiksa : Ir. M. Budi Nur Rahman, S.T., M.Eng		
TEKNIK MESIN UMY	TOOL μFSW		No. 01	A.4



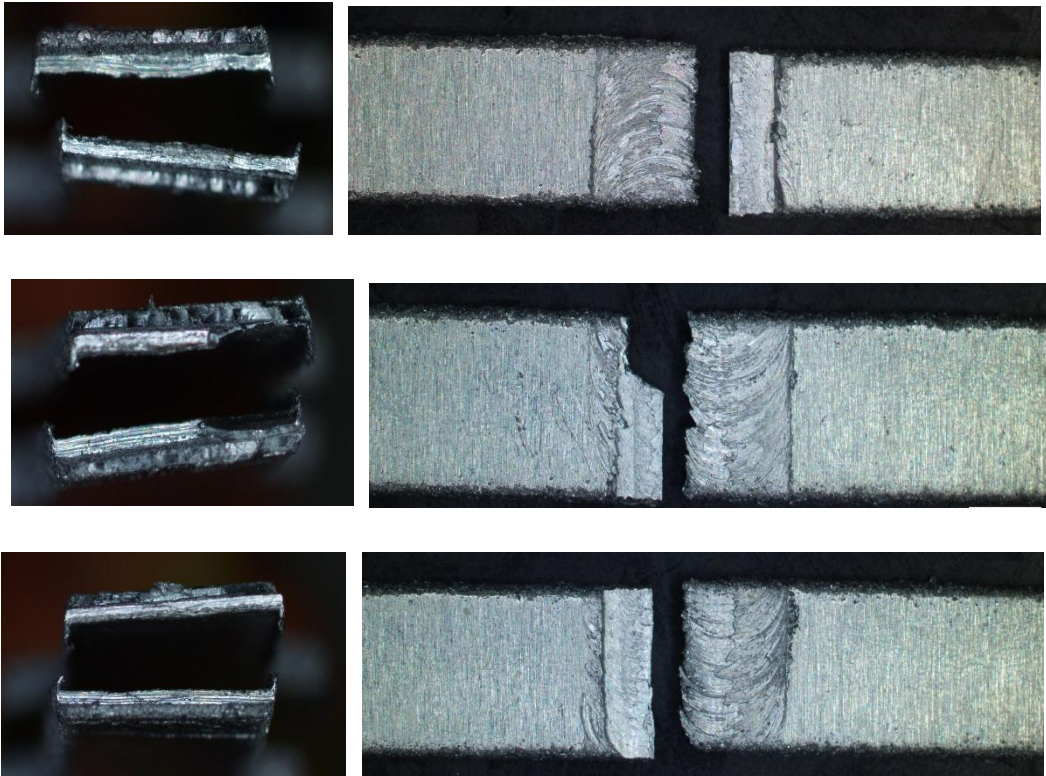
Hasil Fraktografi

1. Variasi sudut kemiringan tool 0



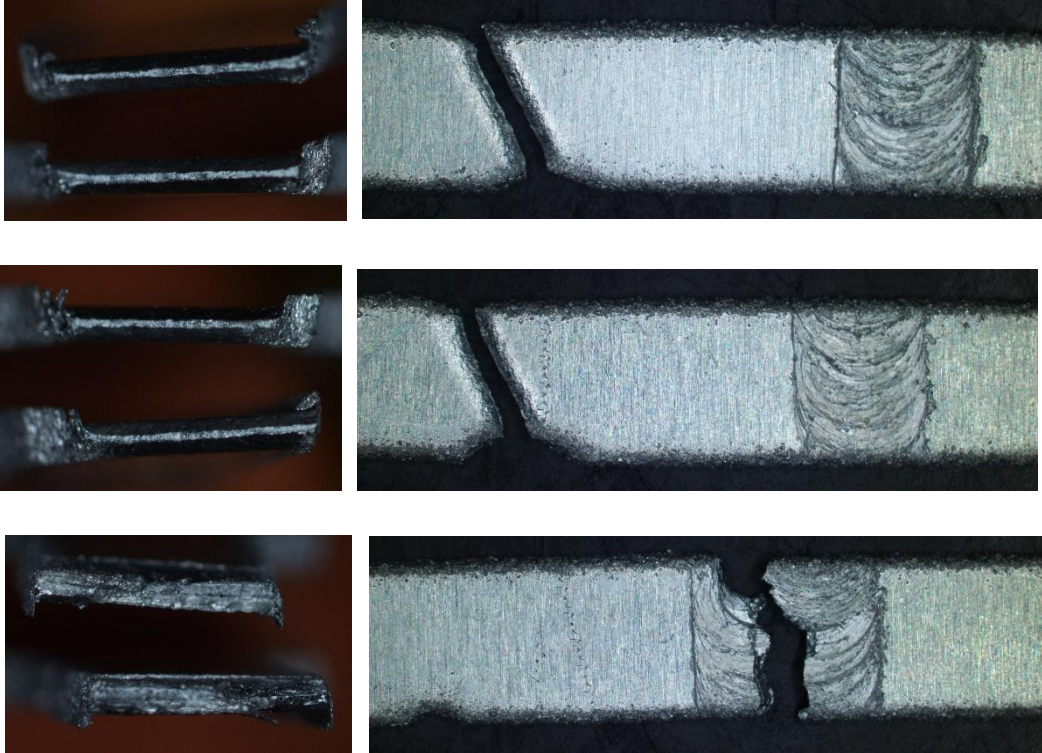
Tampak Depan Bagian Patahan Las (kiri) dan Tampak Atas bagian patahan Las (kanan)

2. Variasi sudut kemiringan tool 1



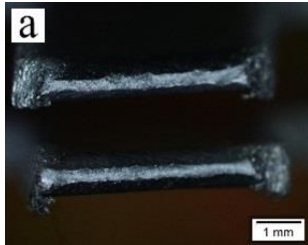
Tampak Depan Bagian Patahan Las (kiri) dan Tampak Atas bagian patahan Las (kanan)

3. Variasi sudut kemiringan tool 2



Tampak Depan Bagian Patahan Las (kiri) dan Tampak Atas bagian patahan Las (kanan)

4. Base Metal



Tampak Depan Bagian Patahan Las (kiri) dan Tampak Atas bagian patahan Las (kanan)

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA : Pengaruh Sudut Kemiringan Tool *Micro Friction Stir Welding* Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada Sambungan Aluminium 1100

Judul Naskah Publikasi: : Pengaruh Sudut Kemiringan Tool *Micro Friction Stir Welding* Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada Sambungan Aluminium 1100

Nama Mahasiswa : **Ramadhoni Fahmi Arianto Putra**

NIM: : **20160130084**

Pembimbing 1 : **Muhammad Budi Nur Rahman, S.T., M.Eng**

Pembimbing 2 : **Ir. Aris Widyo Nugroho, M.T., Ph.D**

Hal yang dimintakan persetujuan *:

Abstrak berbahasa Indonesia Naskah Publikasi
 Abstrak berbahasa Inggris

*beri tanda ✓ di kotak yang sesuai




Tanda Tangan
Ramadhoni Fahmi Arianto Putra

20/01/2021

Tanggal

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

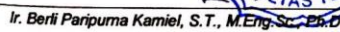
Disetujui



Tanda Tangan
Muhammad Budi Nur Rahman, S.T., M.Eng

20/01/2021

Tanggal



Ir. Berli Paripurna Kamei, S.T., M.Eng, Ph.D

Tanggal 22 / 01 / 2021

Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.